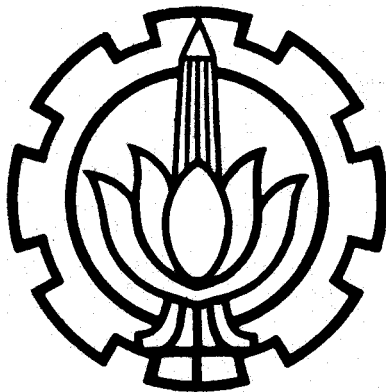


3555/ITS/H/91 ✓

STUDI TENTANG FILTER ANALOG YANG DIGUNAKAN DALAM FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

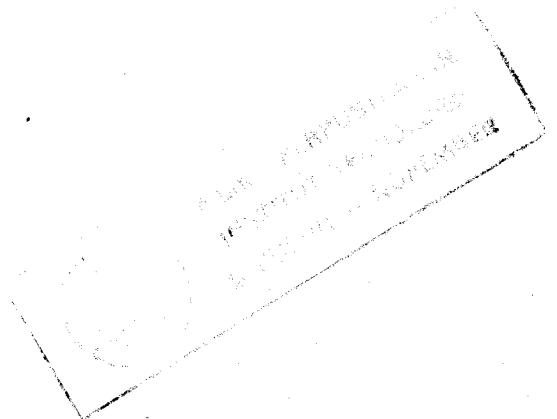


RSE
621.3878
Muc
S-1
1990

Oleh :

Moh. Muchlis
NRP. 2832200043

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



STUDI TENTANG FILTER ANALOG YANG DIGUNAKAN DALAM FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Elektro**

Pada

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing**



Ir. HANG SUHARTO, M.Sc.

S U R A B A Y A

PEBRUARI, 1990

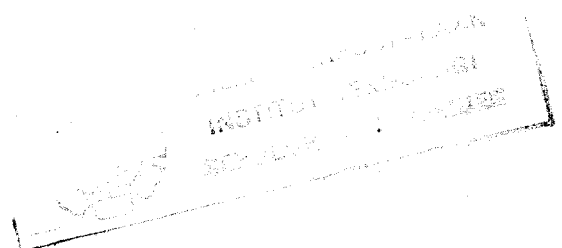
ABSTRAK

Untuk menggandakan proses pengiriman saluran telepon dapat digunakan sistem frequency division multiplexing, pada frequency division multiplexing masing-masing saluran digabung membentuk sebuah group selanjutnya group-group digabung membentuk jumbo group multiplex yang berisi 10.800 saluran yang ditransmisikan secara serentak. Pada proses penggabungan saluran menjadi group sampai jumbo group multiplex sistem frequency division multiplexing jelas diperlukan filter-filter yang baik dengan cut-off tajam untuk menghindari terjadinya overlapping.

Dalam tugas akhir ini diadakan analisa perhitungan untuk mengetahui responsi ketajaman cutoff dari berbagai metode, untuk filter aktif digunakan metode Butterworth dan untuk filter pasip metode konstanta- k filter, m -derived filter serta komposisinya.

Analisa filter aktif diambil dari pembentukan saluran dan pembentukan group, ketajaman cut-off dapat diatur dengan cara penggandaan rangkaian, sedangkan untuk filter pasip diambil dari pembentukan super group sampai jumbo group multilex, analisa dilakukan semua metode sehingga dapat metode yang paling baik.

Dari hasil studi ini didapatkan filter yang sesuai digunakan pada sistem frequency division multiplexing, filter aktif digunakan metode Butterworth, ketajaman cut-off maximal didapat dengan mengambil order paling besar, sedangkan filter pasip ketajaman maximal dan responsi peredaman, karakteristik impedansi dan pergeseran phase terbaik didapat dari komposit filter yaitu gabungan antara konstanta- k , m -derived dan terminating half-section.



KATA PENGANTAR

Penyusun sangat bersyukur kehadiran Alloh Swt yang menambah rahmat dan berkah-Nya dan segala pertolongan-Nya, sehingga telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir, dengan judul :

STUDI TENTANG FILTER ANALOG YANG DIGUNAKAN DALAM FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

Penyusunan tugas akhir ini dimaksudkan sebagai salah satu persyaratan kurikulum gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

- Bapak Ir. Hang Suharto MSc, selaku dosen Pembimbing
- Bapak Ir. Aries Purnomo, selaku dosen Wali
- Bapak Dr.Ir. Agus Mulyanto, selaku Koordinator bidang studi Teknik Telekomunikasi
- Bapak Ir. Syariffuddin M. M Eng.Sc, selaku Ketua jurusan Teknik Elektro
- Ibu, Kakak, Adik yang dengan penuh ikhlas memberikan dorongan dan semangat
- Rekan-rekan dan semua pihak yang telah turut membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Apabila susunan isi buku ini kurang sempurna, saran serta kritik dari pembaca selalu penyusun harapkan.

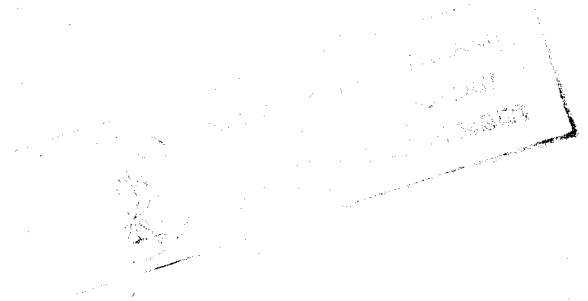
Surabaya, Pebruari 1990

Penyusun

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	
I.1. LATAR BELAKANG	1
I.2. PERMASALAHAN	3
I.3. PEMBATAHAN PERMASALAHAN	3
I.4. METHODOLOGI	4
I.5. SISTEMATIKA STUDI	4
I.6. RELEVANSI	5
 BAB II TEORI PENUNJANG	
II.1. FILTER SECARA UMUM	6
II.2. MACAM-MACAM FILTER DAN KEGUNAANNYA ...	7
II.2.1. Filter ditinjau dari	
Spektrum Frekuensi	7
II.2.2. Filter ditinjau dari	
Pemisahan Frekuensi	9

II.2.2.1. Low Pass Filter	9
II.2.2.2. High Pass Filter	10
II.2.2.3. Band Pass Filter	10
II.2.2.4. Band Stop Filter	11
II.2.3. Filter ditinjau dari Elemen Pembentuk	12
II.2.3.1. Filter Aktip	14
II.2.3.1.1. Low Pass Filter	14
II.2.3.1.2. High Pass Filter	18
II.2.3.1.3. Band Pass Filter	20
II.2.3.1.4. Band Stop Filter	21
II.2.3.2. Filter Pasip	22
II.2.3.2.1. Karakteristik Impedansi Filter	27
II.2.3.2.2. Filter ditinjau dari	
hubungan Impedansi	29
II.2.3.2.2.1. Konstanta- α Filter	29
A. Low Pass Filter	29
B. High Pass Filter	34
C. Band Pass Filter	39
D. Band Stop Filter	43
II.2.3.2.2.2. M-derived Filter	45
A. Low Pass Filter	51
B. High Pass Filter	57
C. Band Pass Filter	65
D. Band Stop Filter	68
II.2.3.2.2.3. Komposit Filter	69
II.2.3.2.2.4. Terminating Half Section	71



II.3. SISTEM FREKUENSI DIVISION MULTIPLEXING.	78
II.3.1. Hirarki FDM AT&T	81
II.3.2. Hirarki FDM CCITT	84
II.4. PENSUPLAIAN SUB-CARRIER	86

BAB III PEMBAHASAN

III.1. PROSES MODULASI PADA SISTEM FDM	91
III.2. PROSES PEMBENTUKAN GROUP PADA SISTEM FDM	95
III.2.1. Untuk Standart AT&T	95
III.2.2. Untuk Standart CCITT	96
III.3. PROSES PEMFILTERAN SISTEM FDM	98
III.3.1. Filter Aktip	98
III.3.1.1. Low Pass Filter saluran 4 KHz	99
III.3.1.2. Band Pass Filter	
Group (60 - 108) KHz	100
A. Low Pass Filter 108 KHz	101
B. High Pass Filter 60 KHz	101
III.3.1.3. Ulasan Filter Aktip	103
III.3.2. Filter Pasip	104
III.3.2.1. Konstanta- λ BPF	112
III.3.2.2. M-derived BPF	115
III.3.2.3. Analisa Perhitungan Filter	117
III.3.2.3.1. Band Pass Filter	
Super Group (312 - 552) KHz	118
A. Pada Attenuation Band	118
B. Pada Pass Band	119

III.3.2.3.2. Band Pass Filter	
Master Group (812 - 2044) KHz.....	121
A. Pada Attenuation Band	121
B. Pada Pass Band	122
III.3.2.4. Komposit Filter	125
III.3.2.4.1. Komposit Band Pass Filter	
Super Group (312 - 552) KHz	125
III.3.2.4.2. Komposit Band Pass Filter	
Master Group (812 - 2044) KHz	129

BAB IV KESIMPULAN

IV.1. Filter Aktip	133
IV.2. Filter Pasip	134
IV.3. Saran	135
DAFTAR PUSTAKA	136
USULAN TUGAS AKHIR	137

D A F T A R G A M B A R

GAMBAR	HALAMAN
2.1 Spektrum Elektromagnetik	8
2.2 Low Pass Filter	9
2.3 High Pass Filter	10
2.4 Band Pass Filter	11
2.5 Band Stop Filter	12
2.6 Blok diagram Filter menurut Elemen-elemen Pembentuknya	13
2.7 Responsi Low Pass Filter Butterworth	15
2.8 a. Rangkaian Filter Aktip secara umum	17
b. Rangkaian Low Pass Filter order pertama	17
c. Rangkaian Low Pass Filter order kedua	17
2.9 a. Rangkaian High Pass Filter order pertama ...	19
b. Rangkaian High Pass filter order kedua	19
2.10a Band Pass Filter dari kaskade order dua Low Pass Filter dan High Pass Filter	20
2.10b Band Stop Filter dari kaskade order dua Low Pass Filter dan High Pass Filter	21
2.11 T-section filter simetri dan half-section	22
2.12 π -section filter simetri dan half-section	23
2.13 T-section dan π -section konstanta- k Low Pass Filter	30

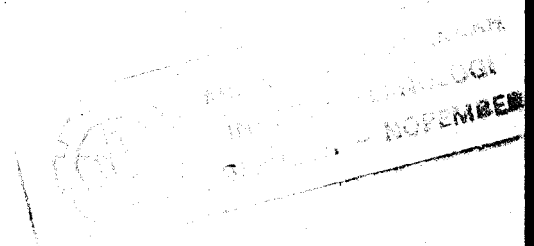
NOVEMBER

2.14	Perubahan peredaman α dan perubahan phase β terhadap frekuensi pass band dan attenuation band konstanta- λ Low Pass Filter.....	32
2.15	Perubahan impedansi Z_{or} dan $Z_{o\pi}$ pada frekuensi pass band konstanta- λ Low Pass Filter	34
2.16	T dan π section konstanta- λ High Pass Filter	35
2.17	Perubahan peredaman α dan perubahan phase β terhadap frekuensi konstanta- λ High Pass Filter	37
2.18	Perubahan impedansi Z_{or} dan $Z_{o\pi}$ terhadap frekuensi pass band konstanta- λ High Pass Filter	38
2.19	Band Pass Filter	40
2.20	Perubahan peredaman, pergeseran phase dan karakteristik impedansi Z_o konstanta- λ Band Pass Filter	42
2.21	Band Stop Filter	44
2.22	Karakteristik peredaman satu section dan tiga section konstanta- λ Low Pass Filter	46
2.23	Cara mendapatkan m-derived T-section	48
2.24	a. Konstanta- λ π -section	49
	b. M-derived π -section	49
2.25	Elemen-elemen m-derived π -section	50
2.26	M-derived T-section Low Pass Filter	51
2.27	M-derived π -section Low Pass Filter	53
2.28	Kurva peredaman vs frekuensi m-derived dan konstanta- λ Filter	55

2.29	Karakteristik Pergeseran Phase m-derived Low Pass Filter	56
2.30	Karakteristik Impedansi Z_0 m-derived Low Pass Filter	56
2.31	Kurva peredaman vs frekuensi m-derived Low Pass Filter untuk harga 'm yang berbeda	57
2.32	Konstanta- k dan m-derived T-section High Pass Filter	58
2.33	Konstanta- k dan m-derived π -section High Pass Filter	61
2.34	Kurva peredaman vs frekuensi m-derived High Pass Filter	62
2.35	Karakteristik pergeseran phase vs frekuensi m-derived High Pass Filter	63
2.36	Kurva impedansi Z_0 vs frekuensi m-derived High Pass Filter	63
2.37	Kurva peredaman vs frekuensi m-derived High Pass Filter untuk harga 'm yang berbeda	64
2.38	M-derived T-section Band Pass Filter	65
2.39	Perubahan $Z_0\pi/R_0$ terhadap frekuensi untuk harga 'm yang berbeda	66
2.40	M-derived T-section Band Stop Filter	68
2.41	Blok diagram Komposit filter	70
2.42	Kurva peredaman vs frekuensi Komposit filter	70
2.43	Half-section dari m-derived T-section	72

2.44	Perubahan Z_{or} dan Z_{π} Low Pass Filter terhadap frekuensi dengan harga ω yang berbeda	75
2.45	Rangkaian matching Terminating Half Section	76
2.46	T-section dari m-derived π -section	77
2.47	Pembentukan Group Sistem FDM	79
2.48	Pembentukan Super Group Sistem FDM	81
2.49	Hirarki FDM AT&T	83
2.50	Blok diagram pensuplai Carrier	86
2.51	Feedback frequenci devider	87
2.52	Prinsip kerja pembangkit Harmonisa	89
3.53	Spektrum gelombang AM	93
3.54	Proses pemfilteran cara mendapatkan Low Side Band	93
3.55	Pembentukan Group sampai Jumbo Group Multipleks	95
3.56	Pembentukan Group sampai Super Master Group	96
3.57	Low Pass Filter order empat	100
3.58	Rangkaian Band Pass Filter order empat	102
3.59	Konstanta- k Band Pass Filter	112
3.60	M-derived Band Pass Filter	115
3.61	Peredaman pada daerah attenuation band	119
3.62	Pergeseran Phase pada daerah pass band	120
3.63	Karakteristik Impedansi pada pass band	120
3.64	Peredaman pada daerah attenuation band	122
3.65	Pergeseran Phase pada daerah pass band	123
3.66	Karakteristik Impedansi pada pass band	123
3.67a	Rangkaian Komposit Band Pass Filter secara umum	127

3.67b Rangkaian Komposit Band pass Filter	
Super Group (312 - 552) KHz	128
3.68 Rangkaian Komposit Band Pass Filter	
Master Group	130
3.69 Hasil Peredaman Komposit Filter pada daerah	
attenuation band	131
3.70 Hasil Pergeseran Phase Komposit Filter pada	
daerah pass band	132
3.71 Karakteristik Impedansi Komposit Filter pada	
pass band	132



D A F T A R T A B E L

TABEL	HALAMAN
2.1 Tabel normalisasi Butterworth	16
2.2 Hirarki FDM AT&T vs FDM CCITT	85
3.3 Peredaman dan Pergeseran Phase yang dihasilkan tiap Order Rangkaian	103
3.4 Hasil Peredaman pada kiri pass band	118
3.5 Hasil Peredaman pada kanan pass band	118
3.6 Hasil Pegeseran Phase dan Impedansi pada pass band	119
3.7 Hasil Peredaman pada kiri pass band	121
3.8 Hasil Peredaman pada kanan pass band	121
3.9 Hasil Pegeseran Phase dan Impedansi pass band	122

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG.

Indonesia merupakan negara yang cukup luas wilayahnya, terdiri dari banyak pulau diseluruh Nusantara, dengan adanya keadaan geografis seperti ini penduduk Indonesia menyebar diseluruh kepulauan. Sesuai dengan kodratnya, manusia diciptakan sebagai makhluk yang memerlukan sekali komunikasi, karena pentingnya komunikasi, secara tidak langsung manusia dituntut untuk mengembangkan.

Apabila ditinjau dewasa ini, sistem komunikasi di Indonesia sudah dapat dikatakan cukup pesat perkembangannya, terbukti dengan adanya sistem transmisi baik itu melalui kabel, udara dan penggunaan satelit komunikasi, apabila diteliti kembali di Indonesia sudah banyak sekali digunakan peralatan yang cukup baik, yaitu dengan dimensi yang cukup kecil namun fungsinya bermacam-macam. Pada dasarnya peralatan tersusun dari rangkaian yang didalamnya banyak sekali komponen elektroniknya, dengan demikian untuk menilai baik tidaknya sistem peralatan, jelas tergantung dari komponennya. Filter merupakan salah satu peralatan yang fungsinya untuk memilih frekuensi, biasanya dipakai pada receiver dan transmitter, proses pemfilteran merupakan dasar dari sistem komunikasi, jadi

jika proses ini baik, maka sistem komunikasi akan berjalan baik dan lancar, otomatis filter yang digunakan harus baik dan sesuai dengan frekuensi yang diinginkan, sehingga akan didapatkan sinyal informasi yang bagus dari proses komunikasi. Pada sistem saluran gelombang faktor peredaman dan distorsi harus dibuat sekecil mungkin, dengan demikian harus tahu bagaimana cara memperkecil distorsi dan peredaman pada band frekuensi. Pada sistem serial, sinyal dikirim bersama-sama dengan elemen data dalam satu spektrum band frekuensi.

Pada sistem paralel band frekuensi dibagi menjadi n secara terpisah, ini biasa disebut dengan sistem *Frequency Division Multiplexing (FDM)*, dan diberikan n saluran data secara paralel, n saluran dalam proses multiplexing harus sinkron, sinyal data dan elemen harus tepat waktunya, jadi masing-masing saluran menduduki $1/n$ frekuensi band. Kenaikan sinyal elemen dan timbulnya distorsi juga peredaman diakibatkan frekuensi transmisi lebih besar daripada frekuensi band yang ditempati semula, untuk mengatasi masalah ini diadakan pengurangan pada masing-masing sinyal elemen agar dapat mencapai kondisi optimum, biasanya yang digunakan supaya tetap sinkron adalah sistem paralel.

Pada pengiriman saluran telepon menggunakan sistem frequency division multiplexing yang digunakan sebagai bahan pertimbangan adalah filter, sebab filter peranannya penting sekali untuk menggabung dan memisahkan saluran.

I.2. PERMASALAHAN.

Dalam telekomunikasi radio dikenal berbagai macam sistem komunikasi berdasarkan klasifikasi daerah frekuensinya, dari masing-masing frekuensi mempunyai prinsip pemakaian yang berlainan, sebab faktor frekuensi dalam sistem telekomunikasi sangat penting sekali, maka harus benar-benar diperhatikan. Untuk membatasi frekuensi salah satunya dengan cara pemfilteran, dengan demikian akan diperoleh frekuensi yang diinginkan, jadi harus tahu jenis filter apa yang harus digunakan agar sesuai dengan frekuensi yang dikehendaki.

I.3. PEMBATAAN PERMASALAHAN.

Penyusunan tugas akhir ini masalahnya akan dibatasi khusus menyangkut mengenai filter analog ditinjau dari jenis, macam dan kegunaannya. Dan lebih lanjut akan dibahas mengenai pemakaian filter pada sistem frequency division multiplexing.

I. 4. METHODOLOGI.

Methodode yang digunakan untuk membahas tugas akhir ini adalah :

- Pertama : mempelajari filter dari berbagai buku referensi
- Kedua : mengumpulkan data-data yang ada hubungannya dengan pemakaian filter pada sistem frequency division multiplexing
- Ketiga : menganalisa data dari cara kerja filter sehingga dapat menentukan jenis filter yang sesuai digunakan pada sistem frequency division multiplexing

I. 5. SISTEMATIKA STUDI.

Secara garis besar penyusunan tugas akhir ini terdiri dari tiga bagian, yaitu pendahuluan, teori penunjang dan pembahasan permasalahan. Secara keseluruhan terdiri atas empat bab, yang mana pendahuluan merupakan bab pertama, sedangkan teori penunjang pada bab dua, pembahasan permasalahan pada bab tiga, kesimpulan dan saran pada bab empat.

I.6. RELEVANSI.

Dengan selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis berharap agar kelak dikemudian hari buku ini bisa menjadi tambahan wawasan serta tolok ukur bagi pembaca, khususnya dibidang filter yang digunakan pada sistem frequency division multiplexing.

B A B I I

T E O R I P E N U N J A N G

II.1. FILTER SECARA UMUM.

Filter diambil pengertian secara umum adalah tapis atau penyaring, prinsip filter disini lain dibanding dengan filter umpama untuk menyaring pasir, misalkan ingin mendapatkan pasir ber-ukuran lima mikron, lalu dirancang kasa penyaring untuk ukuran lima mikron, lantas digunakan untuk menyaring, dan yang lolos atau yang tidak tersaring adalah pasir yang ber-ukuran lima mikron dan yang lebih kecil, jadi sulit mendapatkan pasir yang benar-benar ber-ukuran lima mikron, lain halnya kalau bicara masalah filter elektronik, yang disaring adalah frekuensi, misalkan memerlukan frekuensi rendah, maka filter yang digunakan jenis low pass filter, untuk frekuensi tinggi digunakan filter jenis high pass filter, begitu juga untuk frekuensi bidang digunakan filter jenis band pass filter. Proses penyaringan harus benar-benar tepat sesuai dengan yang diinginkan. Perlu diketahui dalam telekomunikasi faktor frekuensi sangat penting sekali, oleh sebab itu perlu diadakan pembagian frekuensi untuk komunikasi. Semua ini tujuannya untuk memperluas proses transmisi dan penerimaan pada proses komunikasi agar frekuensi satu dengan lainnya tidak terjadi interferensi, sehingga sinyal

informasi yang dikirimkan bisa baik, begitu juga sinyal informasi yang diterima. Pada umumnya pemakaian frekuensi untuk komunikasi semakin tinggi maka sinyal yang didapatkan akan semakin bersih, dikarenakan faktor noise dapat dikurangi seminim mungkin. Jadi jelas sekali faktor komunikasi erat sekali hubungannya dengan frekuensi, oleh karena itu kalau berbicara masalah frekuensi, filter pasti tidak dapat ditinggalkan.

II.2. MACAM-MACAM FILTER DAN KEGUNAANNYA.

Filter ditinjau secara menyeluruh ada bermacam-macam jenisnya, dari macam-macam filter tentu lain pula cara menggunakannya, supaya lebih cepat memahami, filter diklasifikasikan menjadi tiga bagian :

1. *Filter ditinjau dari Spektrum Frekuensi*
2. *Filter ditinjau dari Pemisahan Frekuensi*
3. *Filter ditinjau dari Elemen Pembentuk*

II.2.1. Filter ditinjau dari Spektrum Frekuensi.

Pada teknik telekomunikasi spektrum frekuensi peranannya penting sekali, untuk itu filter ditinjau dari spektrum frekuensi dibagi menjadi

- *filter frekuensi Suara*
- *filter frekuensi Radio*
- *filter gelombang Mikro*

10k 1k 100m 10m 1m 10cm 1cm 1mm 0.1mm											
	VLF		LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF	Band 12	
		Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 8	Band 9	Band 10	Band 11		
	Myria-mt	k-mt	h-mt	da-m	mt	d-mt	c-mt	m-mt		Infra red	
	Wave	Wv	Wv	Wv	Wv	Wv	Wv	Wv			
Audio freq.		Radar frequencies									
Video frequencies					Microwave reg.						
30c	300c	3kc	30kc	300kc	3Mc	30Mc	300Mc	3Gc	30Gc	300Gc	3000Gc

GAMBAR 2.1¹

Spektrum Elektromagnetik

Filter frekuensi suara dioperasikan pada daerah frekuensi 30Hz - 30KHz, filter frekuensi radio dioperasikan pada frekuensi 30Hz - 300MHz, sedangkan filter gelombang mikro dioperasikan pada daerah frekuensi 300 MHz - 300 GHz. Filter frekuensi suara dan radio dapat menggunakan komponen RLC, sedang filter yang digunakan pada daerah gelombang mikro tidak dapat menggunakan komponen RLC melainkan ada alat yang biasa disebut dengan wave guide atau cavity.

¹ Basman Syahbuddin, Pengaruh Radiasi Gelombang Mikro pada Fisik Manusia, Lapan, Bandung, 1981, hal. 9.

II.2.2. Filter ditinjau dari Pemisahan Frekuensi.

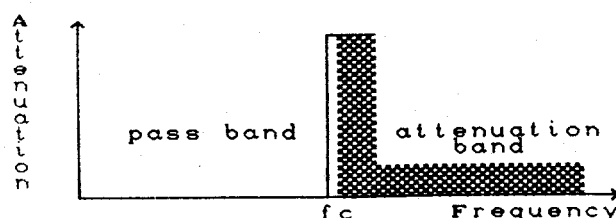
Frekuensi merupakan faktor penting dalam sistem komunikasi, jadi harus tahu benar frekuensi yang akan digunakan, untuk itu dipisahkan menjadi empat bentuk filter yang dapat digunakan untuk mendapatkan frekuensi yang dikehendaki.

1. LPF (Low Pass Filter)
2. HPF (High Pass Filter)
3. BPF (Band Pass Filter)
4. BSF (Band Stop Filter)

II.2.2.1 Low Pass Filter.

Yaitu filter prinsip kerjanya meneruskan frekuensi rendah sampai batas frekuensi cut-off, frekuensi lebih besar dari frekuensi cut-off mengalami peredaman.

Karakteristik low pass filter dapat dilihat pada gambar berikut



GAMBAR 2.2²

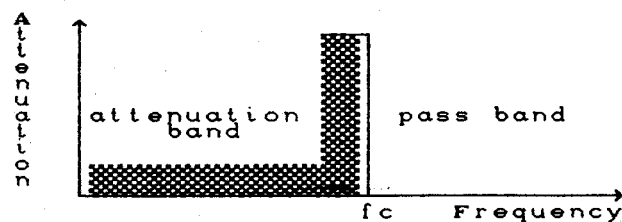
Low Pass Filter

² Ramabhadran S, Telecommunication Principles Circuit and System, Khana Publisher, New delhi, 1976, hal. 75.

II.2.2.2. High Pass Filter.

Yaitu filter prinsip kerjanya meneruskan frekuensi yang lebih besar dari frekuensi cut-off, frekuensi dibawah cut-off akan mengalami peredaman.

Karakteristik high pass filter dapat dilihat pada gambar berikut



GAMBAR 2.3³

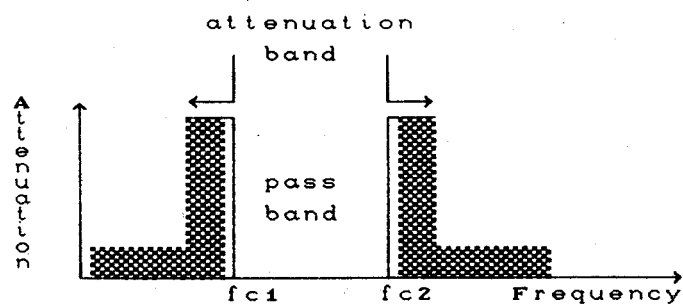
High Pass Filter

II.2.2.3. Band Pass Filter.

Yaitu filter prinsip kerjanya meneruskan frekuensi antara dua frekuensi cut-off, frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi cut-off satu dan yang lebih besar dari frekuensi cut-off dua akan mengalami peredaman.

³ Ibid.

Karakteristik band pass filter dapat dilihat pada gambar berikut

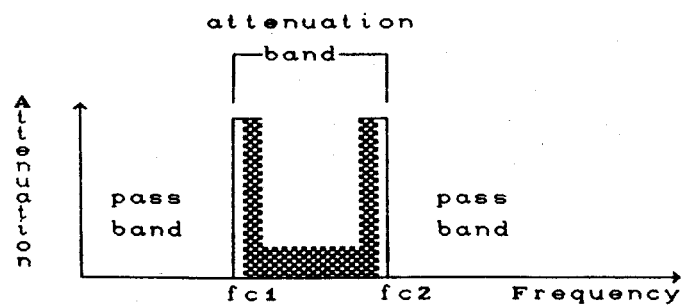


GAMBAR 2.4⁴
Band Pass Filter

II.2.2.4. Band Stop Filter.

Yaitu filter prinsip kerjanya meneruskan frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi cut-off satu dan frekuensi yang lebih besar dari frekuensi cut-off dua, frekuensi antara kedua cut-off akan mengalami peredaman, jadi prinsip kerja band stop filter berkebalikan dengan prinsip kerja band pass filter. Karakteristik band stop filter dapat dilihat pada gambar berikut

⁴ Ibid.

GAMBAR 2.5⁵

Band Stop Filter

II.2.3. Filter ditinjau dari Elemen Pembentuk.

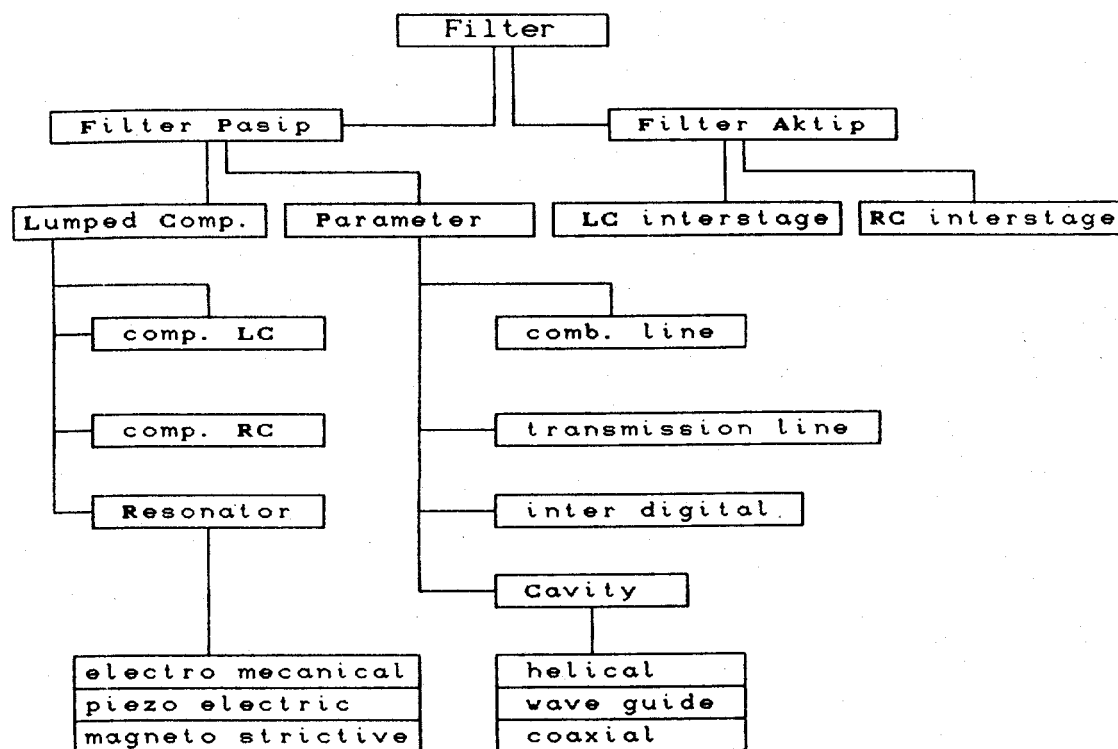
Berdasarkan elemen atau komponen pembentuk filter dibagi menjadi dua :

- filter Aktif
- filter Pasif

Filter aktif adalah filter dalam rangkaiannya tanpa menggunakan induktor atau disebut filter pasif RC, biasanya filter ini digunakan pada frekuensi rendah dibawah 200 KHz, misalnya pada sound system.

Filter pasif adalah filter dalam rangkaiannya menggunakan komponen LC, filter ini cocok digunakan pada frekuensi tinggi seperti pada frekuensi audio, dan frekuensi radio. Untuk lebih jelas dapat dilihat blok diagram sebagai berikut

⁵ Ibid.

GAMBAR 2.6⁶

Blok diagram Filter menurut Elemen-elemen Pembentuknya

Jenis filter pasip kurang baik digunakan pada frekuensi rendah, pada frekuensi rendah memerlukan induktansi yang besar, untuk memperoleh induktansi besar otomatis besar juga ukuran induktornya, jadi kurang efisien.

⁶ Ignatius Pandu Atmaja, The Theory Of Maximally Flat Filters And It's Application On Microvave Filters, Kolokium Its, Surabaya, 1974, hal. 4.

II.2.3.1. FILTER AKTIP.

Untuk melewati bandwidth frekuensi rendah lebih baik menggunakan filter aktif, susunan filter ini tidak menggunakan komponen induktansi, sebab pada penggunaan bandwidth rendah apabila menggunakan komponen induktansi dimensinya terlalu besar, jadi kurang praktis selain harganya juga mahal. Pada filter aktif komponen yang digunakan adalah resistor, kapasitor dan op-amp sebagai komponen aktifnya, op-amp adalah sebuah gandengan langsung yang dilengkapi rangkaian feedback untuk mengendalikan karakteristik respon secara menyeluruh. Op-amp dikenal sebagai peralatan multi guna yang dapat diandalkan, ekonomis, ukurannya kecil, murah dan stabil.

II.2.3.1.1. Low Pass Filter.

Idealnya filter ini meneruskan frekuensi $0 \leq f \leq f_c$ tanpa mengalami kerugian, sedangkan frekuensi diatas f_c menghasilkan output nol, karakteristik ideal seperti ini tidak mungkin terjadi dengan menggunakan elemen fisik sesungguhnya, karena itu diperlukan penerapan yang realistis, penerapan low pass filter dirumuskan sebagai

$$A_v(s) = 1/P_n(s)$$

Dimana $\rightarrow P_n(s)$ = fungsi polinom

$A_v(s)$ = fungsi penguatan

Penerapan rumus diatas yang paling sesuai adalah dengan menggunakan polinom Butterworth

$$A_v(s) = A_v(\omega) / B_n(s)$$

2.1

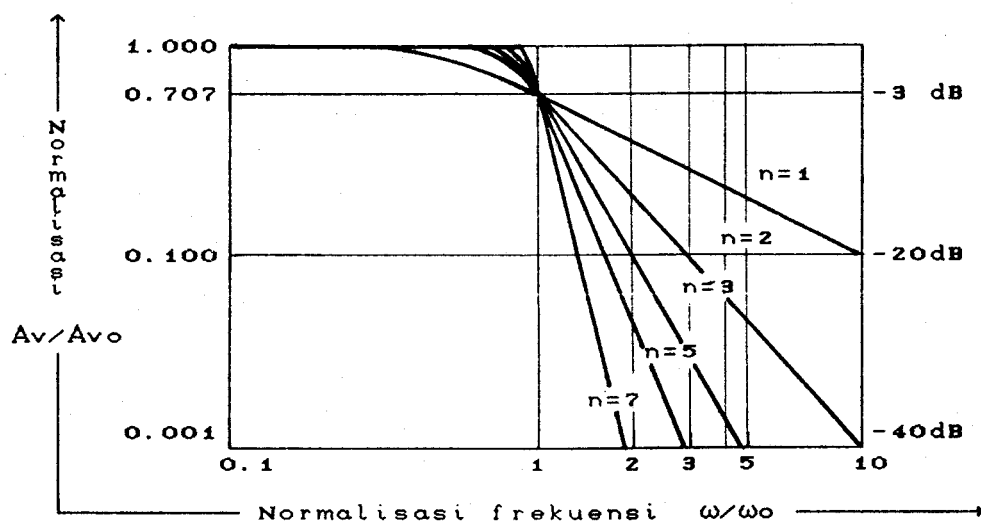
Dimana $\rightarrow B_n(s) = \text{polinom Butterworth}$

$$s = j\omega$$

$$|A_v(s)|^2 = A_v(s) A_v(-s) = A_{v0}^2 / [1 + (\omega/\omega_0)^{2n}]$$

Dari kedua persamaan diatas diperoleh rumus untuk menghitung magnitude $B_n(\omega)$

$$|B_n(\omega)| = [1 + (\omega/\omega_0)^{2n}]$$



GAMBAR 2.7⁷

Responsi Low Pass Filter Butterwoorth

⁷ Halkias-Millman, Integrated Electronics Analog and Digital Circuits and Systems, Mc Grav-Hill International Book Company, 1983, hal. 550.

Responsi Butterworth persamaan 2.1 untuk tingkatan n ditunjukkan pada gambar 2.7. Perhatikan besarnya A_v menurun sebesar 3 db pada $\omega = \omega_0$ untuk semua n , semakin besar n maka semakin dekat kurva penerapan terhadap responsi low pass filter ideal. Normalisasi frekuensi dilakukan dengan mengambil skala $\omega_0 = 1$ rad/det.

Tabel 2.1 menunjukkan polinom Butterworth untuk $n = (1 \rightarrow 8)$ untuk n genap polinom merupakan bentuk kwadratis, sedangkan n ganjil ada faktor $(s+1)$.

TABEL 2.1⁸

Tabel Normalisasi Butterworth

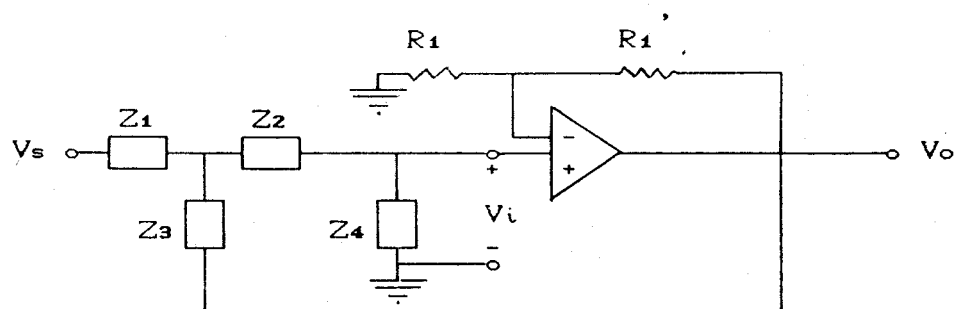
n	Faktor-faktor polinom $B_n(s)$
1	$(s+1)$
2	$(s^2 + 1.414s + 1)$
3	$(s+1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.765s + 1)(s^2 + 1.848s + 1)$
5	$(s+1)(s^2 + 0.618s + 1)(s^2 + 1.618s + 1)$
6	$(s^2 + 0.518s + 1)(s^2 + 1.414s + 1)(s^2 + 1.932s + 1)$
7	$(s+1)(s^2 + 0.445s + 1)(s^2 + 1.247s + 1)((s^2 + 1.802s + 1)$
8	$(s^2 + 0.39s + 1)(s^2 + 1.11s + 1)(s^2 + 1.66s + 1)(s^2 + 1.962s + 1)$

Faktor redaman α didefinisikan setengah harga koefisien s pada masing-masing faktor kwadratis sesuai tabel 2.1

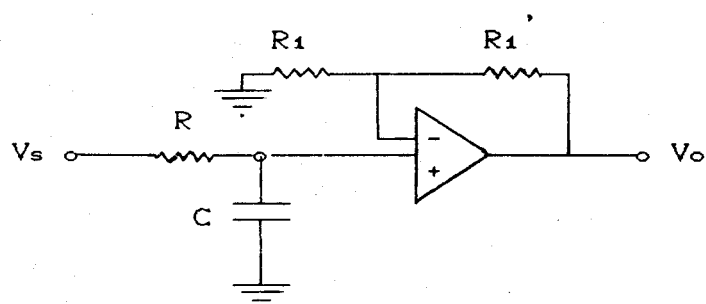
Untuk $n = 4 \rightarrow \alpha = 0.765/2 = 0.383$

$\alpha = 1.848/2 = 0.924$

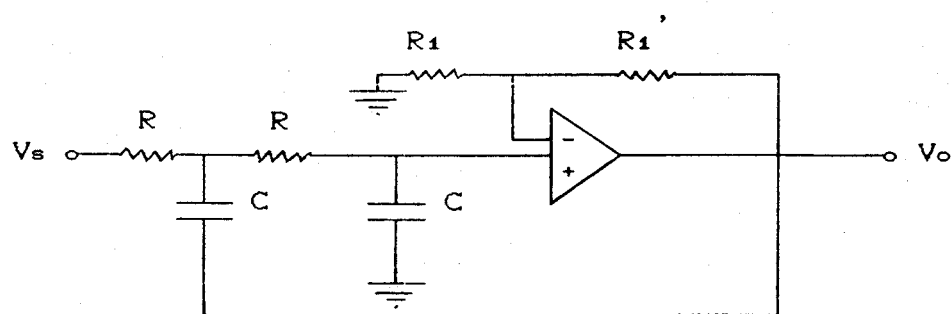
⁸ Ibid.



(a)



(b)

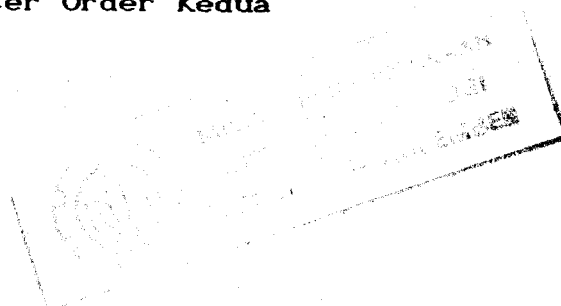


(c)

GAMBAR 2.8^o

- a. Rangkaian Filter Aktip secara Umum
- b. Rangkaian Low Pass Filter Order Pertama
- c. Rangkaian Low Pass Filter Order Kedua

^o Ibid., hal. 552.



Dari tabel 2.1 Transfer function low pass filter

Butterworth order :

$$\text{pertama} \rightarrow A_v(s)/A_{vo} = 1/[(s/\omega_0)+1]$$

$$\text{kedua} \rightarrow A_v(s)/A_{vo} = 1/[(s/\omega_0)^2 + 2\alpha(s/\omega_0) + 1] \quad 2.2$$

Dimana $\rightarrow \omega_0 = 2\pi f_0$, disebut titik
3db frekuensi tinggi

Pada gambar (a) berlaku

$$A_{vo} = V_o/V_i = (R_1 + R_1')/R_1$$

Pada gambar (c) berlaku

$$A_v(s) = A_{vo} (1/RC)^2 / [s^2 + (3 - A_{vo}/RC)s + (1/RC)^2] \quad 2.3$$

Dari persamaan 2.2 dan 2.3 diperoleh

$$\omega_0 = 1/RC$$

$$2\alpha = 3 - A_{vo} \rightarrow A_{vo} = 3 - 2\alpha$$

Dari rumus yang didapat diatas dapat digunakan untuk membuat low pass filter dengan faktor redaman distandartkan tabel 2.1, semakin banyak order yang digunakan semakin besar peredaman dan semakin tajam cut-off nya.

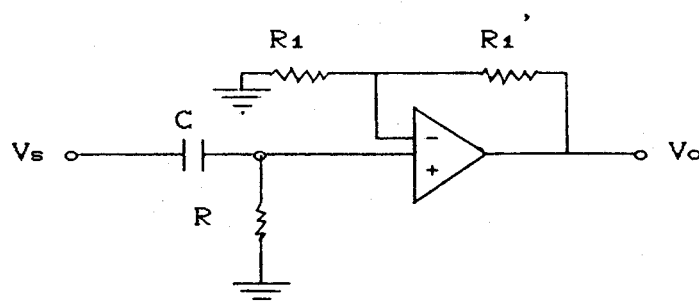
II.2.3.1.2. High Pass Filter.

Pada high pass filter prinsip kerja berkebalikan dengan low pass filter, untuk memperoleh rangkaian high pass filter dapat digunakan rumus yang ada pada low pass filter dengan merubah faktor $\rightarrow s/\omega_0|_{lpf} \rightarrow \omega_0/s|_{hpf}$

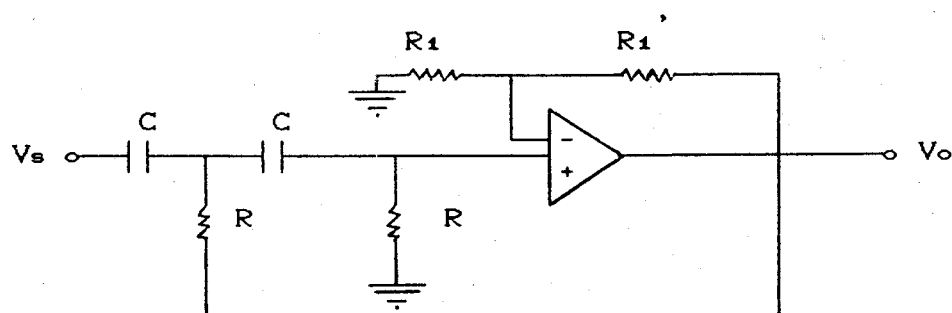
Order pertama $\rightarrow A_v(s)/A_{vo} = 1/[(\omega_o/s)+1]$

kedua $\rightarrow A_v(s)/A_{vo} = 1/[(\omega_o/s)^2 + 2\alpha(\omega_o/s) + 1]$

Begitu juga pada rangkaian terjadi perubahan R dan C, dengan demikian susunan rangkaian high pass filter dapat dibuat sebagai berikut



(a)



(b)

GAMBAR 2.9¹⁰

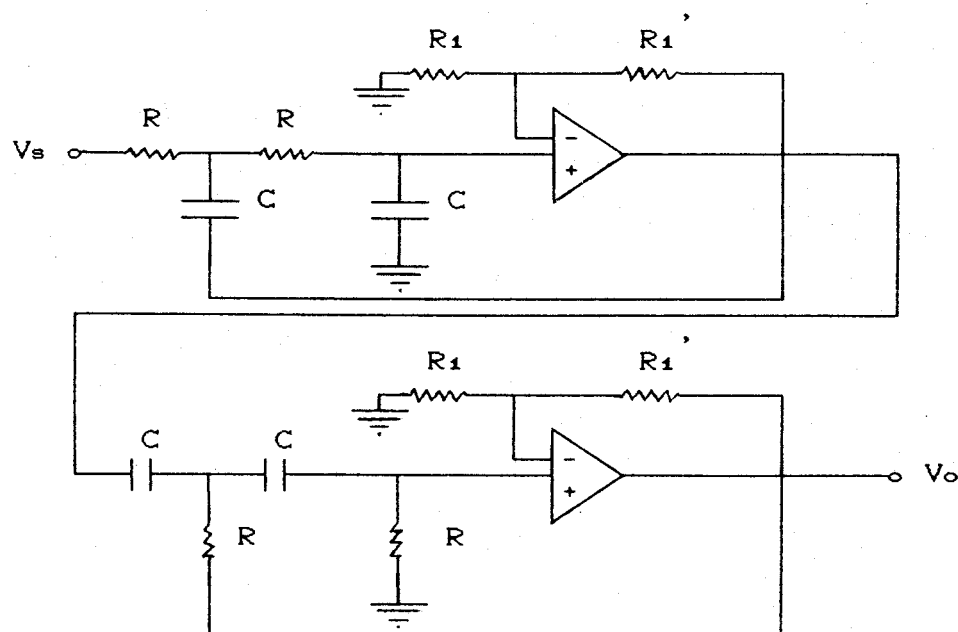
- a. Rangkaian High Pass Filter Order Pertama
- b. Rangkaian High Pass Filter Order Kedua

¹⁰ Ibid.

Handwritten notes and stamps at the bottom right corner, including a date stamp "MAY 1994" and a signature.

II.2.3.1.3. Band Pass Filter.

Band pass filter rangkaiannya dapat dibuat dengan mengkaskadekan rangkaian low pass filter dan high pass filter, dengan syarat f_{oh} high pass filter lebih kecil daripada f_{ol} low pass filter, dengan demikian filter dapat melewatkan frekuensi antara f_{ol} sampai f_{oh} . Untuk rangkaian band pass filter order pertama digunakan kaskade order pertama low pass filter dan high pass filter, untuk band pass filter order kedua digunakan kaskade order kedua low pass filter dan high pass filter.



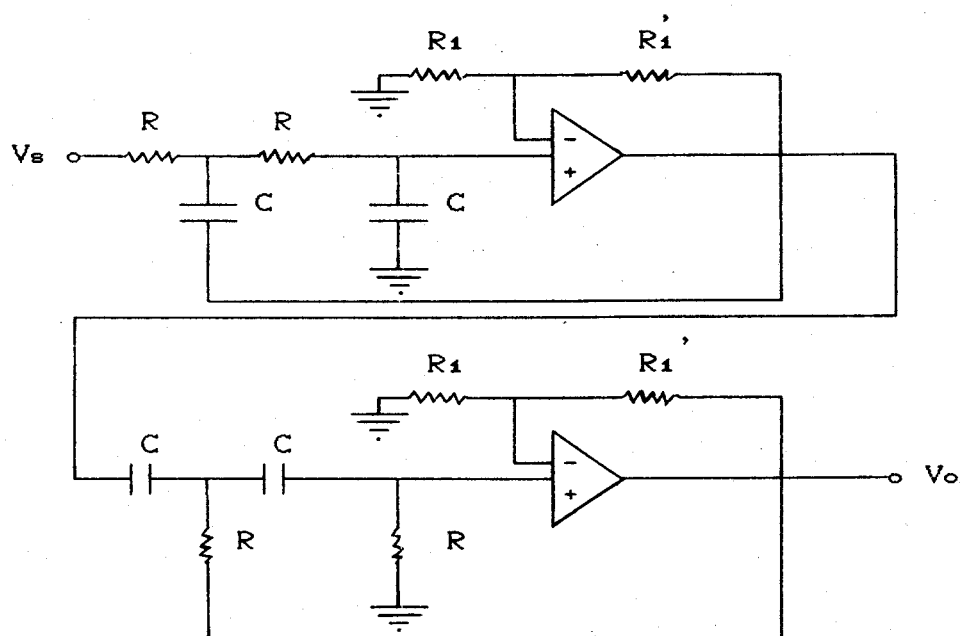
GAMBAR 2.10.a¹¹

Band Pass Filter dari kaskade Order Dua LPF dan HPF

¹¹ Ibid.

II.2.3.1.4. Band Stop Filter.

Band stop filter rangkaiannya persis seperti band pass filter yaitu dibuat dengan mengkaskadekan rangkaian low pass filter dan high pass filter, dengan syarat f_{oh} high pass filter lebih besar daripada f_{ol} low pass filter, dengan demikian filter dapat menahan frekuensi antara f_{ol} sampai f_{oh} . Untuk rangkaian band stop filter order pertama digunakan kaskade order pertama low pass filter dan high pass filter, untuk band stop filter order kedua digunakan kaskade order kedua low pass filter dan high pass filter.



GAMBAR 2.10. b¹²

Band Stop Filter dari kaskade Order Dua LPF dan HPF

¹² Ibid.

II.2.3.2. FILTER PASIP.

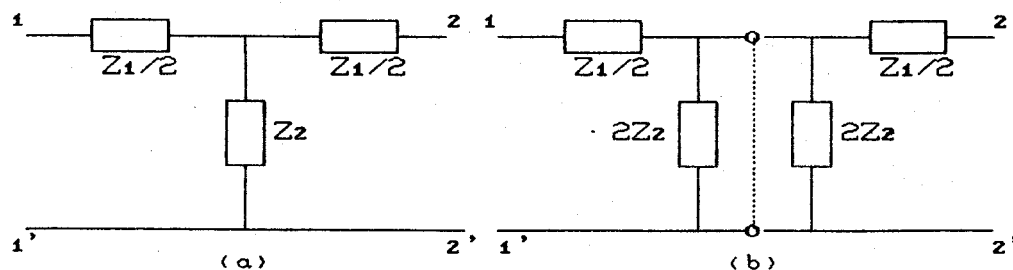
Rangkaian filter pada umumnya terdiri dari satu atau lebih rangkaian simetri berbentuk T-section atau π -section atau dapat juga menggunakan half-section.

Impedansi T-section

Z_1 → jumlah impedansi seri

Z_2 → jumlah impedansi paralel

T-section dapat juga dibuat dari dua half-section tidak simetri seperti pada gambar 2.11.b.



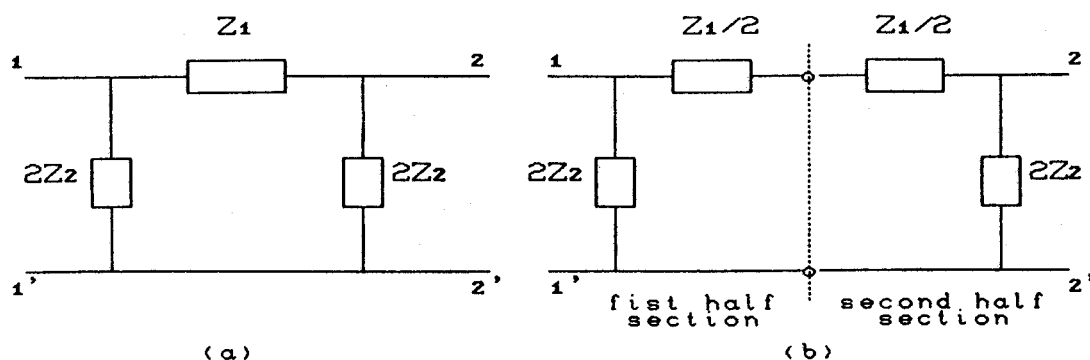
GAMBAR 2.11¹³

T-section Filter Simetri dan Half-section

Gambar 2.12.a. menunjukkan π -section filter simetri

b. menunjukkan π -section dibuat dari dua half-section tidak simetri

¹³ Gyanendra K. Mithal, *Elements of Electronics and Radio Engineering*, Khana Publisher, New Delhi, 1976, hal. 80.

GAMBAR 2.12¹⁴

- (a). π -section Filter Simetri
 (b). Half-section Filter

Konstanta θ rangkaian diperoleh dengan parameter A B C D seperti rumus berikut

$$\theta = \cosh^{-1} \sqrt{AD}^{15}$$

Untuk rangkaian simetri T-section seperti gambar 2.11.a. konstanta θ diperoleh dari konstanta propagasi γ

$$\theta = \gamma = \alpha + j\beta = \cosh^{-1} \sqrt{AD}$$

Untuk T-section gambar 2.11.a.

$$A = Z_{11}/Z_{21} = 1 + Z_1/2Z_2$$

$$D = Z_{22}/Z_{21} = 1 + Z_1/2Z_2$$

$$A = D$$

Maka $\gamma = \cosh^{-1} A = \cosh^{-1} (1 + Z_1/2Z_2)$

$$1 + Z_1/2Z_2 = \cosh \gamma = 1 + 2 \sinh^2 (\gamma/2)$$

¹⁴ Ibid., hal. 81.

¹⁵ Ibid.

$$\sinh (\gamma/2) = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\gamma/2 = \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2} \quad 2-4$$

$$\theta = \gamma = 2 \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

Apabila konstanta γ atau θ harganya imajiner, maka $\alpha = 0$, maka $\gamma = j\beta$, berarti peredaman filter nol, dapat dikatakan transmisi bebas dari peredaman. Harga ratio $Z_1/4Z_2$ akan real positif atau negatif tergantung dari harga Z_1 dan Z_2 .

Persamaan 2-4 dapat dituliskan

$$\sinh (\alpha/2 + j \beta/2) = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 + j \cosh \alpha/2 \sin \beta/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2} \quad 2-5$$

Ada dua hal yang perlu diperhatikan

$$Z_1/4Z_2 > 0$$

$$Z_1/4Z_2 < 0$$

Apabila $Z_1/4Z_2 > 0$, impedansi Z_1 dan Z_2 bertanda sama, berharga real dan bertanda positif, persamaan 2-5 dapat dituliskan.

$$\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2} \quad 2-6$$

$$\cosh \alpha/2 \sin \beta/2 = 0 \quad 2-7$$

Dari persamaan 2-7

$$\sin \beta/2 = 0$$

$$\beta/2 = \pm n\pi$$

Dimana $n = 0, 1, 2$ dst.

$$\cos \beta/2 = 1$$

Persamaan 2-6 menjadi

$$\sinh \alpha/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\alpha = 2 \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

Dapat dikatakan apabila $Z_1/4Z_2$ positif, $\alpha = \text{real}$, maka peredaman terjadi pada daerah frekuensi diatas $Z_1/4Z_2$, daerah ini dinamakan attenuation band atau stop band. Apabila $Z_1/4Z_2 < 0$, maka $\sqrt{Z_1/4Z_2}$ berharga imajiner..

Persamaan 2-5 dapat dituliskan

$$\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 = 0 \quad 2-8$$

$$\sinh \alpha/2 = 0$$

$$\cos \beta/2 = 0$$

Dengan mengambil $\sinh \alpha/2 = 0$, maka $\alpha = 0$, berarti tidak terjadi peredaman, untuk $Z_1/4Z_2 < 0$, harga $\alpha = 0$, daerah frekuensi dinamakan pass band atau transmission band. Apabila $\rightarrow \sinh \alpha/2 = 0$ dan $\cosh \alpha/2 = 1$

Dari persamaan 2-5

$$j \sin \beta/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2} \quad 2-9$$

$$\beta = 2 \sin^{-1} \sqrt{-Z_1/4Z_2} \quad 2-10$$

Pass band sesuai persamaan 2-10 memberikan harga konstanta phase β dari Z_1 dan Z_2 sebagai fungsi frekuensi

- Apabila $Z_1/4Z_2$ negatif dan $|Z_1/4Z_2| > 1$, sesuai persamaan 2-9, $\sin \beta/2 > 1$ misalnya, maka daerah transmisi besarnya menjadi $-1 < Z_1/4Z_2$. Jadi dapat dikatakan proses transmisi setelah melewati filter $Z_1/4Z_2$ harganya menjadi berkurang dan bertanda negatif.

$$-1 < Z_1/4Z_2 < 0 \quad 2-11$$

Apabila $Z_1/4Z_2 < -1$

Persamaan 2-8 dapat menggunakan

$$\cos \beta/2 = 0$$

$$\sin \beta/2 = \pm 1$$

$$\beta/2 = (2n-1) \pi/2 \quad 2-12$$

Dimana $n = 1, 2, 3$ dst.

Dari persamaan 2-5, untuk $\cos \beta/2 = 0$

$$j \cosh \alpha/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\cosh \alpha/2 = \sqrt{|Z_1/4Z_2|}$$

$$\text{Maka} \quad \alpha = 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|} \quad 2-13$$

Persamaan 2-11 mendefinisikan frekuensi cut-off

$$Z_1/4Z_2 = 0 \quad 2-14$$

$$Z_1/4Z_2 = -1$$

$$\text{Maka} \quad \rightarrow \quad Z_1 = 0$$

$$\rightarrow \quad Z_1 + 4Z_2 = 0$$

II.2.3.2.1. Karakteristik Impedansi Filter.

Karakteristik impedansi diberikan sebagai berikut

$$Z_0 = \sqrt{B/C}^{16}$$

$$B = (Z_{11}Z_{22} - Z_{12} Z_{21})/Z_{21}$$

$$C = 1/Z_{21}$$

Maka
$$Z_0 = \sqrt{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}} \quad 2-15$$

Untuk T-section pada gambar 2.11.a.

$$Z_{22} = Z_{11} = Z_2 + Z_1/2$$

$$Z_{12} = Z_{21} = Z_2$$

Maka
$$Z_{0T} = [(Z_2 + Z_1/2)^2 - (Z_2)^2]^{1/2}$$

$$Z_{0T} = \sqrt{Z_1Z_2 (1 + Z_1/4Z_2)} \quad 2-16$$

Apabila $\rightarrow Z_1 = jX_1$ dan $Z_2 = jX_2$

Maka
$$Z_{0T} = \sqrt{-X_1X_2 (1 + X_1/4X_2)} \quad 2-17$$

Pada Pass Band, Z_1 , Z_2 dan juga X_1 , X_2 apabila tanda berlawanan, dapat dituliskan

$$-1 < X_1/4X_2 < 0$$

Pada pass band besar $(-X_1X_2)$ dan $(1+X_1/4X_2)$ tandanya positif, persamaan 2-17 harganya juga akan positif, Z_{0T} menjadi real, dengan demikian bersifat resistip dan dapat diganti dengan R_0 . Apabila impedansi beban dan impedansi

¹⁶ Ibid., hal. 84.

input rangkaian sebesar R_o , jaringan beban bersifat resistip, maka power transmisi tidak mengalami peredaman, jika sumber mempunyai impedansi dalam R_o , maka sistem dari sumber ke beban dapat dikatakan match, artinya power dapat disalurkan ke beban dengan maksimum.

Pada stop band, $X_1/4X_2 > 0$, X_1 dan X_2 bertanda sama, Apabila dimasukan kepersamaan 2-17 harganya akan real negatip, dengan demikian karakteristik impedansi Z_o bersifat resistansi murni.

Karakteristik impedansi π -section dapat dilihat pada gambar 2.12.a.

$$\begin{aligned} Z_{11} &= Z_{22} = (2Z_2)(Z_1 + 2Z_2)/(Z_1 + 4Z_2) \\ &= (Z_1/2 + Z_2)/(1 + Z_1/4Z_2) \\ Z_{12} &= Z_{21} = Z_2/(1 + Z_1/4Z_2) \end{aligned}$$

Persamaan 2-15 menjadi

$$\begin{aligned} Z_{o\pi} &= \{[(Z_2 + Z_1/2)/(1 + Z_1/4Z_2)]^2 - [Z_2/(1 + Z_1/4Z_2)]^2\}^{1/2} \\ &= [((Z_1)^2/2) + Z_1Z_2]^{1/2} / (1 + Z_1/4Z_2) \\ &= [Z_1Z_2 / (1 + Z_1/4Z_2)]^{1/2} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} 2-18 \\ 2-19 \end{array}$$

$$Z_{o\pi} = Z_1Z_2 / Z_{oT}$$

Misalkan Z_1 dan Z_2 reaktansi murni, dimasukkan kedalam persamaan 2-18, dengan menggunakan rangkaian π -section, maka impedansi pass band menjadi resistansi murni dan pada stop band impedansinya reaktip murni.

II.2.3.2.2. Filter ditinjau dari Hubungan Impedansi.

Mengenai hubungan filter dengan impedansi dapat diklasifikasikan menjadi dua :

1. Dengan konstanta- k filter
2. Dengan m -derived filter

II.2.3.2.2.1 Konstanta- k Filter.

Sebuah konstanta- k filter didapat dari impedansi seri Z_1 dan impedansi paralel Z_2 dengan hubungan

$$Z_1 Z_2 = k^2$$

dimana k tidak tergantung pada frekuensi, pada umumnya $Z_1 Z_2$ berharga real

$$Z_1 Z_2 = k^2 = R_o^2$$

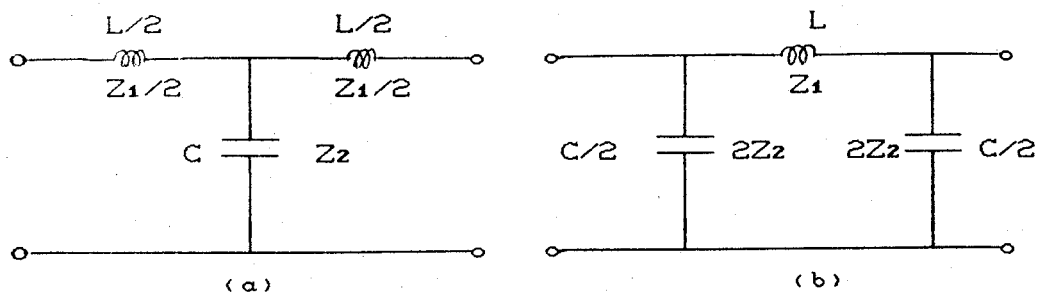
R_o adalah impedansi section filter.

Konstanta- k jenis T-section dan π -section digunakan sebagai bahan pertimbangan konstanta- k filter.

Pada m -derived filter harga $Z_1 Z_2$ tidak sama dengan k^2 , tetapi karakteristik impedansinya harus sama dengan konstanta- k section, kelebihan m -derived filter mempunyai karakteristik peredaman lebih tajam.

A. Konstanta- k Low Pass Filter.

Gambar berikut menunjukkan T-section dan π -section dengan konstanta- k low pass filter.

GAMBAR 2.13¹⁷

T-section dan π -section
Konstanta- α Low Pass Filter

Total impedansi seri $Z_1 = j\omega L$ dan paralel $Z_2 = 1/j\omega C$

$$Z_1 Z_2 = L/C$$

$$R_o = \sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{L/C}$$

$$Z_1/4Z_2 = -\omega^2 LC/4$$

Pass band $-1 < Z_1/4Z_2 < 0$

Frekuensi cut-off

$$Z_1/4Z_2 = 0 \quad \& \quad Z_1/4Z_2 = -1$$

$$f_{c1} \rightarrow Z_1/4Z_2 = 0 \rightarrow Z_1 = j\omega L, \omega = 0 \text{ atau } f = 0$$

$$f_{c2} \rightarrow Z_1/4Z_2 = -1 \rightarrow -\omega^2 LC/4 = -1$$

$$\omega_c = 2/\sqrt{LC} \rightarrow f_c = 1/\pi\sqrt{LC}$$

Berdasarkan persamaan diatas, pass band dengan konstanta- α low pass filter terletak pada frekuensi nol sampai f_c , atau dari frekuensi $0 \rightarrow 1/\pi\sqrt{LC}$

¹⁷ Gyanendra, op. cit., hal. 88.

Konstanta propagasi $\rightarrow \gamma = \alpha + j\beta$

Perubahan α dan β terhadap frekuensi

$$\begin{aligned}\sinh \gamma/2 &= \sqrt{Z_1/4Z_2} \\ &= (-\omega^2 LC/4)^{1/2} \\ &= j\omega \sqrt{LC}/2\end{aligned}$$

2-20

$$1/\pi\sqrt{LC} = f_c$$

Maka $\sinh \gamma/2 = j f/f_c$

Pass band terletak pada frekuensi

$$\begin{aligned}\rightarrow -1 &< Z_1/4Z_2 < 0 \\ \rightarrow -1 &< -\omega^2 LC/4 < 0 \\ \rightarrow -1 &< -(f/f_c)^2 < 0 \\ \rightarrow 1 &> (f/f_c)^2 > 0 \\ \rightarrow f_c &> f > 0\end{aligned}$$

Pada pass band besarnya

$$\alpha = 0 \rightarrow \gamma = j\beta$$

Persamaan 2-20 menjadi $\sinh (j\beta/2) = \sqrt{Z_1/4Z_2}$

$$= j\omega \sqrt{LC}/2$$

$$\sin \beta/2 = \sqrt{|Z_1/4Z_2|}$$

$$= \omega \sqrt{LC}/2 = f/f_c$$

Maka $\beta = 2 \sin^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|} = 2 \sin^{-1} (f/f_c)$

Pass band, $0 < f < f_c$

$$\alpha = 0 \text{ dan } \beta = 2 \sin^{-1}(f/f_c)$$

Attenuation band $\rightarrow f > f_c$ atau $Z_1/4Z_2 < -1$

Untuk $\beta = \pi$ radian

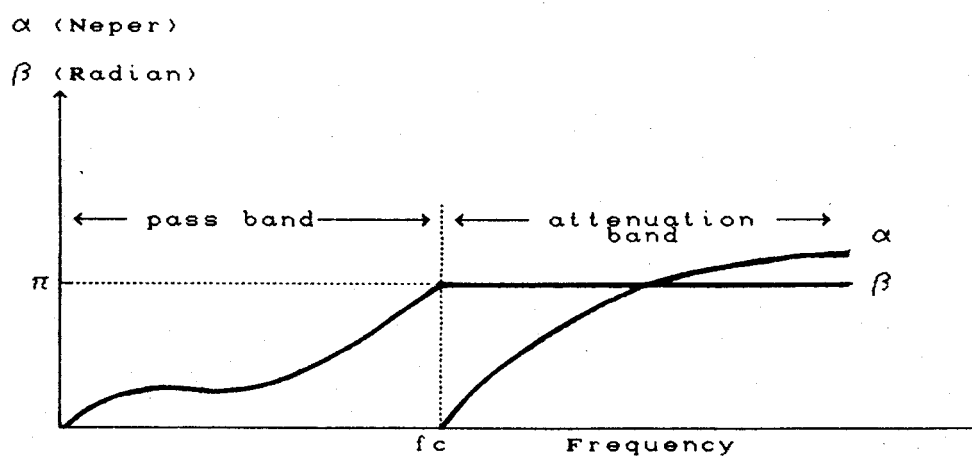
Persamaan 2-13 menjadi

$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|} = 2 \cosh^{-1} (f/f_c)$$

Jadi attenuation band terletak pada

$$f > f_c \rightarrow \alpha = 2 \cosh^{-1} (f/f_c)$$

$$\beta = \pi \text{ radian}$$



GAMBAR 2.14¹⁸

Perubahan Peredaman α dan Perubahan Phase β
terhadap Frekuensi Pass Band dan Attenuation Band
Konstanta- k Low Pass Filter

¹⁸ Ibid., hal. 91.

Impedansi filter jenis T-section

Dari persamaan 2-16

$$Z_{OT} = \sqrt{Z_1 Z_2 (1 + Z_1 / 4 Z_2)}$$

Untuk low pass filter

$$\begin{aligned} Z_{OT} &= [(L/C)(1 - (\omega^2 LC/4))]^{1/2} \\ &= R_o [1 - (f/f_c)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad 2-21$$

Pass band $f < f_c \rightarrow Z_{OT}$ real

Attenuation band $f > f_c$

Apabila dihitung dengan persamaan 2-21 hasil Z_{OT} akan negatif, karakteristik impedansi π -section filter disesuaikan dengan persamaan 2-19

$$Z_{O\pi} = Z_1 Z_2 / Z_{OT} = [Z_1 Z_2 / (1 + Z_1 / 4 Z_2)]^{1/2}$$

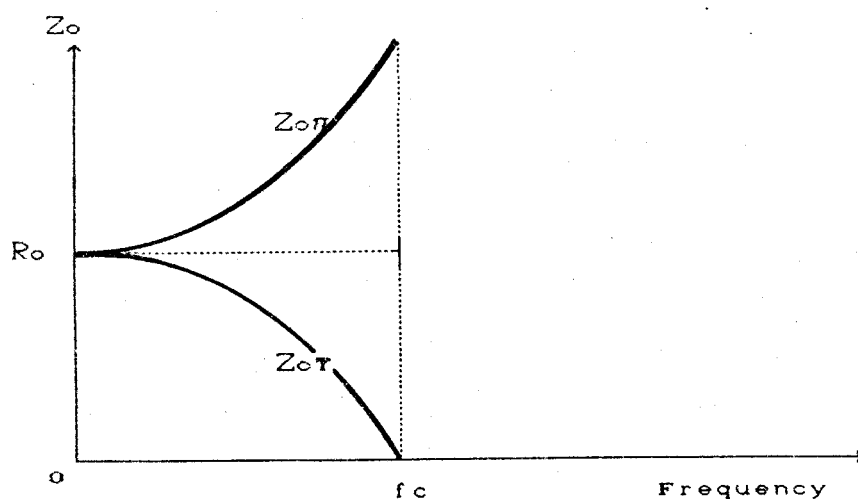
Untuk low pass filter

$$\begin{aligned} Z_{O\pi} &= [L/C]^{1/2} / [1 - (f/f_c)^2]^{1/2} \\ &= R_o / [1 - (f/f_c)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad 2-22$$

Pada pass band $f < f_c$, $Z_{O\pi}$ berharga real positif.

Dikarenakan attenuation band frekuensinya lebih besar dari f_c maka persamaan 2-22 menjadi negatif dan $Z_{O\pi}$ imajiner.

Pada gambar berikut dapat dilihat perubahan impedansi Z_{OT} dan $Z_{O\pi}$ terhadap frekuensi pass band dengan konstanta- π low pass filter. Keadaan seperti ini tidak diinginkan apabila sebagai variabel adalah Z_o , karena yang diinginkan filter dapat match dengan resistan beban tepat R_o pada pass band.

GAMBAR 2.15¹⁹

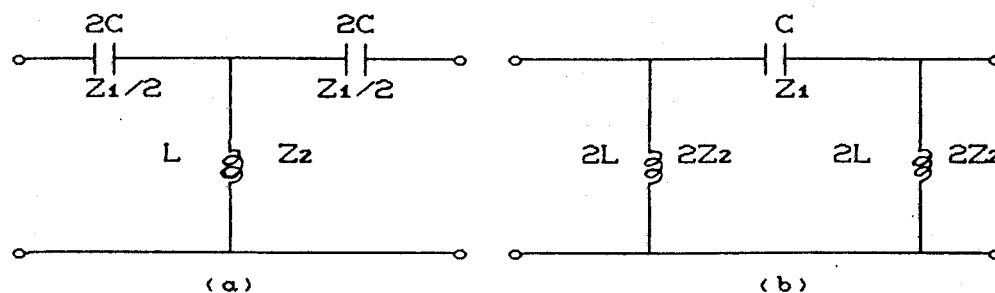
Perubahan Impedansi $Z_{o\tau}$ dan $Z_{o\pi}$
pada Frekuensi Pass Band Konstanta- k LPF

B. Konstanta- k High Pass Filter.

Impedansi T-section dan π -section rangkaian seri $Z_1 = 1/j\omega C$
dan paralel $Z_2 = j\omega L$

$$Z_1 Z_2 = L/C$$

¹⁹ Ibid., hal. 92.

GAMBAR 2.16²⁰

- (a). T-section Konstanta- λ HPF
 (b). π -section Konstanta- λ HPF

Untuk high pass filter besar resistansi

$$R_o = \sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{L/C}$$

Pass band $-1 < Z_1/4Z_2 < 0$

Frekuensi cut-off $Z_1/4Z_2 = 0$ dan $Z_1/4Z_2 = -1$

Untuk $Z_1/4Z_2 = 0 \rightarrow Z_1 = 1/j\omega C = 0, \omega = \infty$

$$Z_1/4Z_2 = -1 \rightarrow -1/4\omega_c^2 LC = -1$$

Maka $\omega_c = 1/2\sqrt{LC}$ rad/s

$$f_c = 1/4\pi\sqrt{LC} \text{ hz}$$

2-29

Persamaan 2-29 disebut frekuensi cut-off rendah, pass band dengan konstanta- λ high pass filter terletak antara

$$f_c \rightarrow f_{\infty} \text{ atau } 1/4\pi\sqrt{LC} \rightarrow \infty$$

²⁰ Ibid., hal. 93.

α dan β pada konstanta propagasi γ diberikan sebagai berikut :

$$\sinh \gamma/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2} = [-1/4\omega^2 LC]^{1/2}$$

$$= j/2\omega\sqrt{LC}$$

2-24

Dari persamaan 2-23

$$f_c = 1/4\pi\sqrt{LC} \rightarrow \sqrt{LC} = 1/4\pi f_c$$

$$\sinh \gamma/2 = j f_c/f$$

$$\sinh (\alpha/2 + j\beta/2) = j f_c/f$$

Pass band menempati frekuensi

$$\rightarrow -1 < Z_1/4Z_2 < 0$$

$$\rightarrow -1 < 1/4\omega^2 LC < 0$$

$$\rightarrow -1 < -(f_c/f)^2 < 0$$

$$\rightarrow 1 > f_c/f > 0$$

$$\rightarrow f_c < f < \infty$$

Pada pass band peredamannya nol, karena bagian real $\alpha = 0$

$$\gamma = 0 + j\beta$$

Persamaan 2-24 menjadi

$$\sinh (j\beta/2) = \sqrt{Z_1/4Z_2} = \pm j/2\omega\sqrt{LC} = \pm j f_c/f$$

$$\sin \beta/2 = \sqrt{|Z_1/4Z_2|} = \pm j/2\omega\sqrt{LC} = \pm f_c/f$$

$$\beta = 2 \sin^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2} = 2 \sin^{-1} \sqrt{(f_c/f)^2}$$

$$\beta = \pm 2 \sin^{-1}(f_c/f)$$

Maka pass band terletak pada $f_c \rightarrow \infty$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \pm 2 \sin^{-1}(f_c/f)$$

Untuk $f = f_c \rightarrow \beta = \pm 2 \sin^{-1}(1) = \pm \pi$

$f = 0 \rightarrow \beta = \pm 2 \sin^{-1}(0) = 0$

peredaman terjadi pada $0 \rightarrow f_c$

Berdasarkan persamaan 2-12

$$\beta/2 = (2n-1)\pi/2 \rightarrow \beta = \pi \text{ radian}$$

Berdasarkan persamaan 2-13

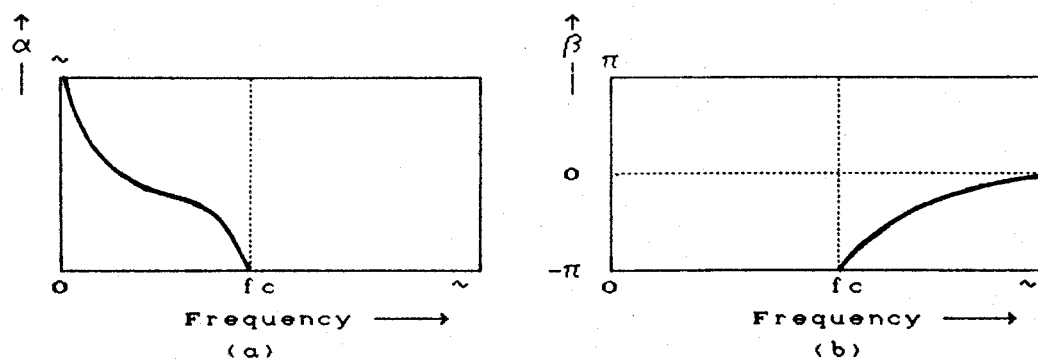
$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|}$$

$$|Z_1/4Z_2| = (f_c/f)^2 \rightarrow \alpha = 2 \cosh^{-1}(f_c/f) \text{ neper}$$

Maka attenuation band

$$0 < f < f_c \rightarrow \alpha = 2 \cosh^{-1}(f_c/f) \text{ neper}$$

$$\beta = \pi \text{ radian}$$



GAMBAR 2.17²¹

Perubahan Peredaman α dan Perubahan Phase β
terhadap Frekuensi Konstanta- β High Pass Filter

²¹ Ibid., hal. 95.

Karakteristik impedansi Z_o untuk T-section

$$Z_{oT} = \sqrt{Z_1 Z_2 (1 + Z_1 / 4 Z_2)}$$

high pass filter $\rightarrow Z_{oT} = [L/C (1 - 1/4 \omega^2 LC)]^{1/2}$

$$= R_o [1 - (f_c/f)^2]^{1/2} \quad 2-25$$

Pass band terletak pada, $f > f_c$ maka Z_{oT} real.

Attenuation band terletak pada, $f < f_c$, dengan demikian

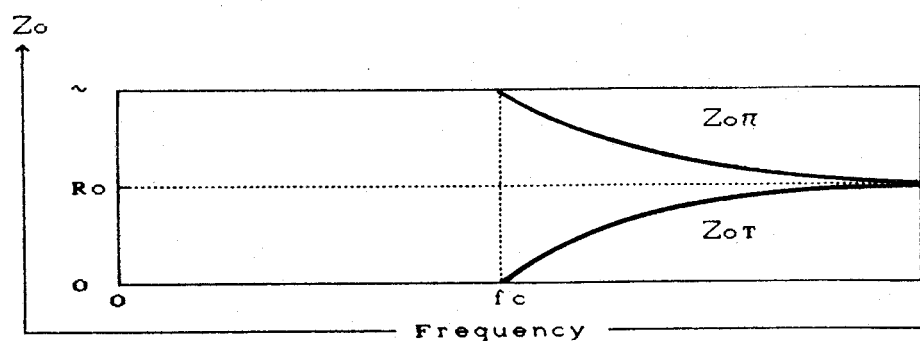
hasil persamaan 2-25 menjadi negatif dan Z_{oT} imajiner.

Karakteristik impedansi π -section filter sesuai dengan

persamaan 2-19 $Z_{o\pi} = Z_1 Z_2 / Z_{oT} = \sqrt{Z_1 Z_2 / (1 + Z_1 / 4 Z_2)}$

High pass filter $\rightarrow Z_{o\pi} = [L/C]^{1/2} / [1 - 1/4 \omega^2 LC]^{1/2}$

$$= R_o / [1 - (f_c/f)^2]^{1/2} \quad 2-26$$



GAMBAR 2.18²²

Perubahan Impedansi Z_{oT} dan $Z_{o\pi}$ terhadap
Frekuensi Pass Band Konstanta- π High Pass Filter

²² Ibid., hal. 97.

Pass band terletak pada, $f > f_c$, maka $Z_{0\pi}$ real positif.

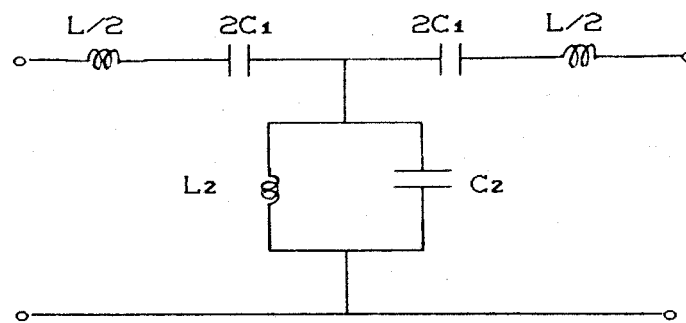
Attenuation band terletak pada, $f < f_c$, sesuai dengan persamaan 2-26 hasilnya negatif dan $Z_{0\pi}$ imajiner.

Dari persamaan 2-25 dan 2-26 $\rightarrow Z_{0\pi} Z_{0T} = R_o^2$

C. Konstanta- π Band Pass Filter.

Band pass filter pada kondisi ideal mempunyai peredaman nol pada pass band, peredaman terjadi diluar pass band, band pass filter dapat dibuat dengan cara menggabungkan high pass filter dan low pass filter, cut-off low pass filter diatur lebih besar daripada cut-off high pass filter, penumpangan daerah pass band dari kedua filter yang dijadikan pass band untuk band pass filter, penggabungan kedua filter ditinjau dari biaya kurang ekonomis, lebih baik dioperasikan sendiri-sendiri.

Gambar 2.19 menunjukkan konstruksi band pass filter T-section dengan impedansi seri Z_1 , rangkaian beresonansi dengan adanya L_1 dan C_1 dirangkai secara seri, impedansi paralel Z_2 dibentuk dari tune circuit dengan cara L_2 dan C_2 dirangkai secara paralel. Komponen L_1 , C_1 , L_2 dan C_2 diatur agar frekuensi resonansi seri sama dengan frekuensi resonansi paralel sebesar ω_0 rad/s.

GAMBAR 2.19²³

Band Pass Filter

Untuk rangkaian seri $\omega^2 L_1 C_1 = 1$ dan paralel $\omega^2 L_2 C_2 = 1$

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 = 1/\omega^2$$

Karakteristik Resistansi R_o

Untuk rangkaian pada gambar 2.19

$$Z_1 = j\omega L_1 + 1/j\omega C_1 = j[(\omega^2 L_1 C_1 - 1)/\omega C_1]$$

$$Z_2 = j\omega L_2 (1/j\omega C_2) / (j\omega L_2 + 1/j\omega C_2) = j\omega L_2 / (1 - \omega^2 L_2 C_2)$$

$$\text{Maka } Z_1 Z_2 = L_2 (\omega^2 L_1 C_1 - 1) / C_1 (\omega^2 L_2 C_2 - 1) \quad 2-27$$

Apabila $L_1 C_1 = L_2 C_2$

Persamaan 2-27 menjadi

$$Z_1 Z_2 = L_2 / C_1 = L_1 / C_2 = R_o^2$$

R_o adalah resistansi untuk band pass filter.

²³ Ibid., hal. 101.

Frekuensi Cut-off

Apabila $Z_1 Z_2$ tidak tergantung pada frekuensi, maka sebuah filter dengan konstanta- k filter mempunyai ketentuan sebagai berikut.

$$\text{Pass band} \rightarrow -1 < Z_1/4Z_2 < 0$$

Frekuensi cut-off

$$\rightarrow -1 = Z_1/4Z_2$$

$$\rightarrow Z_1 = -4Z_2$$

$$\rightarrow Z_1^2 = -4Z_1 Z_2 = -4R_o^2$$

$$\text{Maka} \quad Z_1 = \pm j2R_o^2$$

2-28

Persamaan 2-28 mendefinisikan dua frekuensi cut-off.

$$f_{c1} \rightarrow Z_1 = -j2R_o$$

$$f_{c2} \rightarrow Z_1 = +j2R_o$$

Berarti impedansi rangkaian seri Z_1 pada frekuensi f_{c1} adalah negatif dibanding impedansi Z_1 pada frekuensi f_{c2} .

$$\text{Maka} \quad (\omega_1 L_1 - 1/\omega_1 C_1) = -(\omega_2 L_1 - 1/\omega_2 C_1)$$

$$1 - \omega_1^2 L_1 C_1 = (\omega_1/\omega_2) (\omega_2^2 L_1 C_1 - 1) \quad 2-29$$

$$L_1 C_1 = 1/\omega_o^2$$

Persamaan 2-29 menjadi

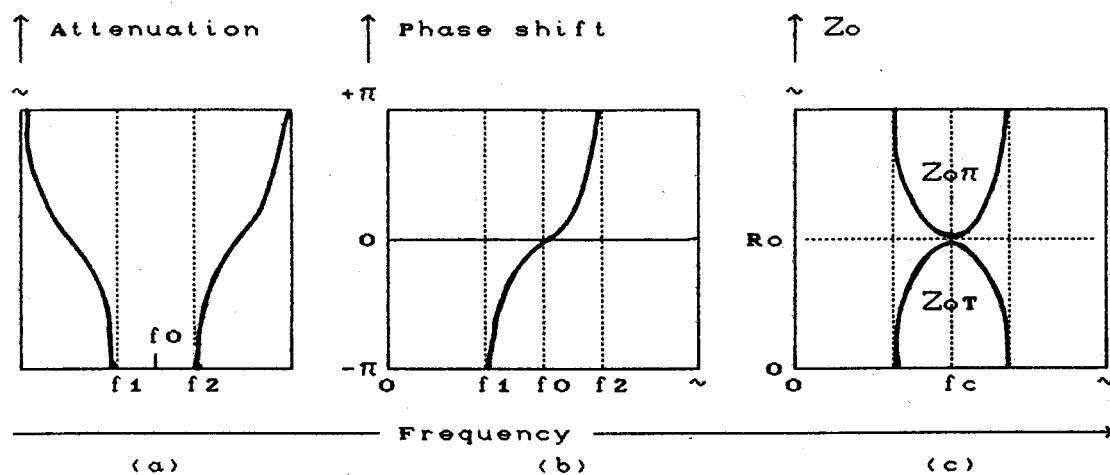
$$1 - (f_1/f_o)^2 = (f_1/f_2) [(f_2^2/f_o^2 - 1)]$$

$$f_o^2 - f_1^2 = f_1/f_2 (f_2^2 - f_o^2)$$

$$f_o^2 (f_1 + f_2) = f_1 f_2 (f_1 + f_2)$$

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

f_0 disebut frekuensi resonansi rangkaian paralel atau seri dan digunakan sebagai perhitungan frekuensi cut-off.



GAMBAR 2.20²⁴

- (a). Perubahan Peredaman Konstanta- k BPF
- (b). Pergeseran Phase Konstanta- k BPF
- (c). Karakteristik Impedansi BPF

Gambar 2.20 menunjukkan perubahan peredaman, pergeseran phase dan karakteristik impedansi Z_0 terhadap frekuensi untuk konstanta- k band pass filter.

Pada gambar 2.20.a. ditunjukkan proses peredaman yang kurang tajam, kejadian seperti ini dapat diatasi dengan cara pendekatan kaskade konstanta- k filter.

²⁴ Ibid., hal. 109.

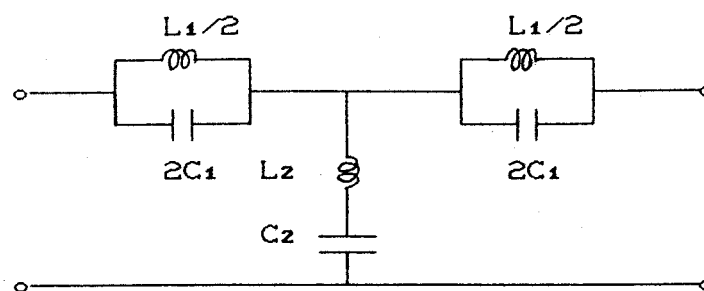
Pada gambar 2.20.c. dapat dilihat bahwa karakteristik impedansi Z_0 dapat mempengaruhi perubahan frekuensi pass band.

D. Konstanta- λ Band Stop Filter.

Band stop filter digunakan untuk menghilangkan band frekuensi antara f_{c1} sampai f_{c2} dan memperlambat transmisi frekuensi rendah sampai tinggi. Band stop filter dapat dibuat secara sederhana dengan menggabungkan low pass filter dan high pass filter, dengan mengatur cut-off high pass filter dibuat lebih tinggi dari cut-off low pass filter. Penumpangan attenuation band dari kedua filter diatur supaya tepat stop bandnya, kombinasi dua filter ditinjau dari biaya kurang ekonomis, secara praktis low pass filter dan high pass filter lebih baik dikombinasi kedalam sebuah section filter tunggal. Gambar 2.21 menunjukkan konstanta- λ band stop filter. Cara pembuatan T-section filter yaitu dengan merangkai impedansi Z_1 (terdiri dari tune circuit paralel L_1 dan C_1) dan Z_2 (terdiri dari tune circuit seri L_2 dan C_2). Komponen L_1 , C_1 , L_2 , C_2 dipilih agar frekuensi resonansi paralel pada rangkaian seri sama dengan frekuensi resonansi seri pada rangkaian paralel sebesar $\omega_0 \rightarrow \text{rad/s}$ atau $f_0 \rightarrow \text{Hz}$.

Untuk rangkaian seri $\omega_0^2 L_1 C_1 = 1$ dan paralel $\omega_0^2 L_2 C_2 = 1$

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 = 1/\omega_0^2$$

Karakteristik Impedansi R_o GAMBAR 2.21²⁵

Band Stop Filter

$$Z_1 = 2 (j\omega L_1/2) (1/j\omega 2C_1) / (j\omega L_1/2 + 1/j\omega 2C_1)$$

$$= j \omega L_1 / (1 - \omega^2 L_1 C_1)$$

$$Z_2 = j\omega L_2 + 1/j\omega C_2 = j (\omega^2 L_2 C_2 - 1) / \omega C_2$$

$$Z_1 Z_2 = L_1 (\omega^2 L_2 C_2 - 1) / C_2 (\omega^2 L_1 C_1 - 1) \quad 2-30$$

Apabila $L_1 C_1 = L_2 C_2$

Persamaan 2-30 menjadi

$$Z_1 Z_2 = L_1 / C_2 = L_2 / C_1 = R_o^2$$

R_o adalah resistansi band stop filter.

Frekuensi Cut-off

Apabila $Z_1 Z_2$ tidak tergantung pada frekuensi, maka filter dengan konstanta- A filter, mempunyai pass band sebagai berikut $-1 < Z_1/4Z_2 < 0$

²⁵ Ibid., hal. 105.

Frekuensi cut-off $\rightarrow -1 = Z_1/4Z_2$

$$Z_1 = -4Z_2$$

$$Z_1^2 = -4Z_1Z_2 = -4R_o^2$$

$$Z_1 = \pm j2R_o$$

2-31

Persamaan 2-31 mendefinisikan dua

frekuensi cut-off

$$f_{c1} \rightarrow Z_1 = + j2R_o$$

$$f_{c2} \rightarrow Z_1 = - j2R_o$$

$$\omega_1 L_1 / (1 - \omega_1^2 L_1 C_1) = -\omega_2 L_1 / (1 - \omega_2^2 L_1 C_1)$$

$$1 - \omega_1^2 L_1 C_1 = \omega_1 / \omega_2 (\omega_2^2 L_1 C_1 - 1) \quad 2-32$$

Apabila $L_1 C_1 = 1/\omega_o^2$

Persamaan 2-32 menjadi

$$(1 - \omega_1^2/\omega_o^2) = (\omega_1/\omega_2) (\omega_2^2/\omega_o^2 - 1)$$

$$1 - (f_1/f_o)^2 = f_1/f_2 [(f_2/f_o)^2 - 1]$$

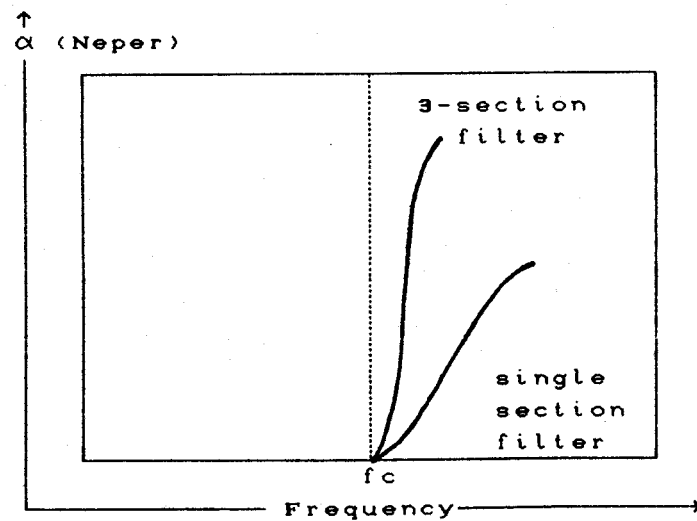
$$f_o = \sqrt{f_1 f_2}$$

Band stop filter dengan konstanta- λ filter, peredamannya meningkat pada daerah frekuensi attenuation band, dan karakteristik impedansi Z_o berubah sesuai dengan frekuensi pass band.

II.2.3.2.2.2. M-derived Filter.

Mempelajari kurva karakteristik impedansi dan peredaman menggunakan konstanta- λ filter, akan lebih jelas apabila melihat dua keadaan.

- Pada *attenuation band*, peredaman diluar frekuensi cut-off harus dijaga agar lebih cepat
- Pada *pass band*, karakteristik impedansi Z_0 harus dijaga tetap mendekati standart R_0



GAMBAR 2.22²⁶

Karakteristik Peredaman Satu Section
dan Tiga Section Konstanta- α Low Pass Filter

²⁶ Ibid., hal. 108.

Apabila filter terpasang sesuai dengan resistip beban, mismatch ataupun pantulan tidak mungkin akan terjadi, kecuali ada frekuensi yang tidak sama. Karakteristik peredaman digunakan untuk memperbaiki attenuation band diluar cut-off, dapat dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih konstanta- k section secara tandem. Dapat juga dengan menggabungkan tiga konstanta- k low pass filter yang sesuai, peredaman pada attenuation band diluar frekuensi cut-off dapat dilihat pada gambar 2.22. Pencapaian cut-off lebih tajam dengan menggunakan pengganti section konstanta- k , juga berguna untuk memperbaiki karakteristik peredaman pada daerah attenuation band, tetapi kurang memperhatikan karakteristik impedansi Z_0 pada pass bandnya. Dengan menggunakan section m-derived filter, akan lebih cepat meredam pada daerah attenuation band diluar cut-off, karakteristik Z_0 dapat dicapai dengan cara menggunakan half-section bersamaan dengan m-derived section.

M-derived filter section dibagi menjadi dua :

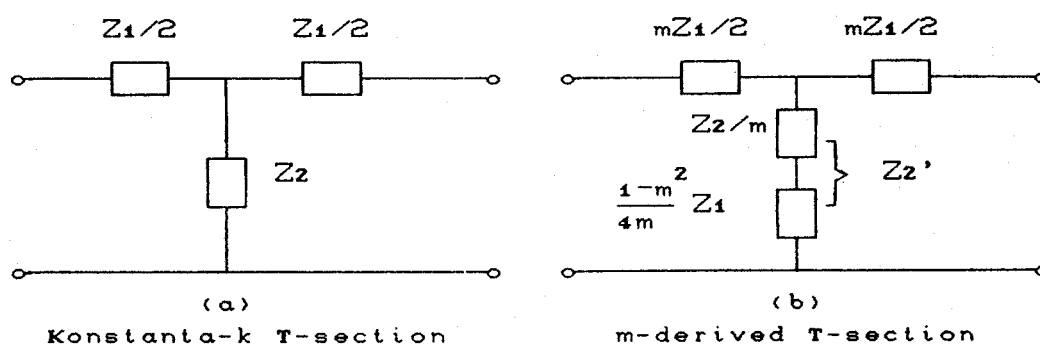
- *m-derived T-section*
- *m-derived π -section*

M-derived T-section

Gambar 2.23. a. menunjukkan konstanta- k T-section

b. menunjukkan m-derived T-section

M-derived section dibuat dengan cara menggandakan sebanyak 'm rangkaian seri konstanta-k section. Rangkaian paralel Z_2 diatur agar sama karakteristik impedansinya.



GAMBAR 2.23²⁷

Cara mendapatkan m-derived T-section

Karakteristik impedansi untuk

- konstanta-k T-section

$$+ Z_{oT} = [Z_1^2/4 + Z_1 Z_2]^{1/2}$$

- m-derived T-section

$$+ Z_{oT}' = [(m^2 Z_1^2/4) + (m Z_1 Z_2')]^{1/2}$$

$$Z_{oT}' = Z_{oT}$$

$$(Z_1^2/4) + (Z_1 Z_2) = (m^2 Z_1^2/4) + (m Z_1 Z_2')$$

$$Z_2' = (Z_2/m) + Z_1(1 - m^2/4m)$$

2-93

²⁷ Ibid., hal. 109.

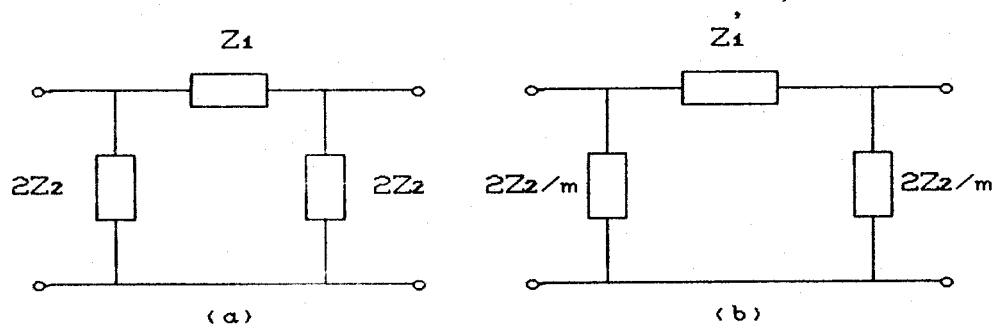
M-derived section dapat dicapai dengan jalan menggandakan rangkaian seri konstanta- Z_1 section sebanyak 'm dan merubah impedansi paralel dengan bantuan persamaan 2-33.

$$0 < m < 1$$

Rumus 'm untuk menghitung $Z_2' \rightarrow (1 - m^2)/4m^2$

M-derived π -section Filter

Gambar dibawah menunjukkan cara mendapatkan m-derived π -section



GAMBAR 2.24²⁸

a. Konstanta- k π -section

b. M-derived π -section

Rangkaian paralel m-derived section dibuat dengan cara menggandakan elemen paralel konstanta- k section sebesar $1/m$, rangkaian Z_1' m-derived π -section dapat diatur agar sama karakteristik impedansinya.

²⁸ Ibid., hal. 110.

Karakteristik impedansi konstanta- π -section,

$$Z_{0\pi} = \sqrt{Z_1 Z_2 / (1 + Z_1 / 4Z_2)}$$

Impedansi m-derived section gambar 2.24.b.

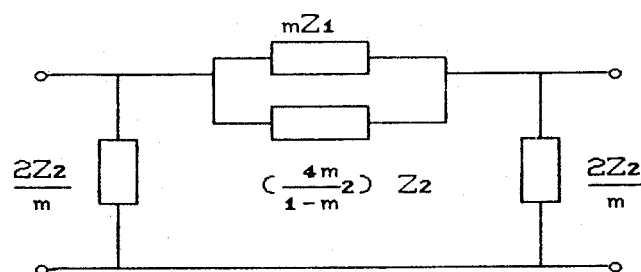
$$Z'_{0\pi} = [(Z'_1 Z_2 / m) / (1 + (Z'_1 / (4Z_2 / m)))]^{1/2}$$

Apabila kedua persamaan digabung

$$Z'_1 = [mZ_1(4m/(1 - m^2))Z_2] / [mZ_1 + (4m/(1 - m^2))Z_2] \quad 2-34$$

Persamaan 2-34 menunjukkan Z'_1 dibentuk dengan cara paralel antara mZ_1 dan $[4m/(1 - m^2)]Z_2$.

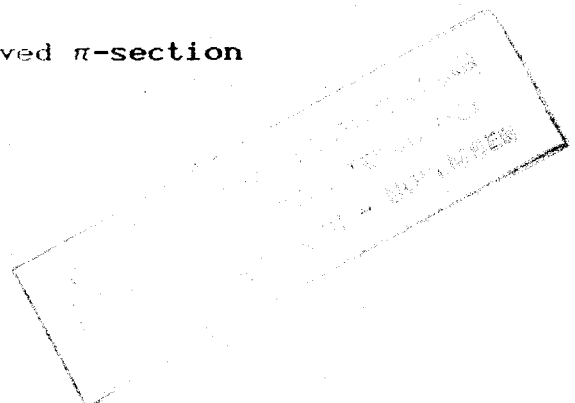
M-derived π -section pada gambar 2.24.b. dapat diganti seperti gambar 2.25 berikut ini



GAMBAR 2.25²⁹

Elemen-elemen m-derived π -section

²⁹ Ibid., hal. 111.



A. M-derived Low Pass Filter.

T-section

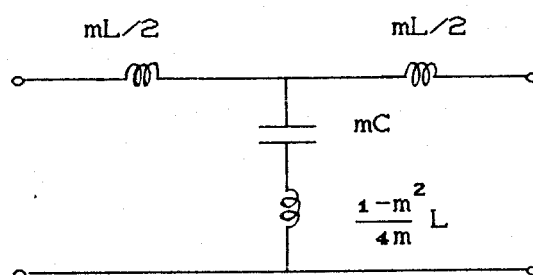
Gambar 2.26 menunjukkan m-derived low pass T-section filter, dibuat dari gambar 2.23.b. dengan mengambil harga

$$Z_1 = j\omega L \quad \text{dan} \quad Z_2 = 1/j\omega C$$

Impedansi paralel

$$Z_2/m + [(1 - m^2) / 4m] Z_1$$

$$Z_1 = j\omega L \quad \text{dan} \quad Z_2 = 1/j\omega C$$



GAMBAR 2.26³⁰

M-derived T-section Low Pass Filter

Rangkaian paralel terdiri dari kapasitansi mC dan induktansi $(1 - m^2)L / 4m$.

³⁰ Ibid.

Rangkaian paralel dibentuk dari LC dengan impedansi mendekati nol pada frekuensi resonansi. Pada saat frekuensi resonansi, transmisi tidak dapat menembus filter, karena terjadi peredaman, peredaman tidak terbatas terjadi pada frekuensi tak terhingga, pada frekuensi ini besar reaktansi $\rightarrow mC = (1 - m^2)L / 4m$.

$$\text{Maka } [1 / \omega_{\sim} mC] = [(1 - m^2) / 4m] \omega_{\sim} L$$

$$\omega_{\sim} = 2 / [(1 - m^2)]^{1/2} [LC]^{1/2} \quad 2-35$$

$$f_{\sim} = 1 / [\pi (LC)^{1/2} (1 - m^2)^{1/2}]$$

$$\text{Frekuensi cut-off } \rightarrow f_c = 1 / \pi \sqrt{LC}$$

$$\omega_c = 2 / \sqrt{LC} \quad 2-36$$

Dari persamaan 2-35 dan 2-36

$$\omega_{\sim} = \omega_c / [1 - m^2]^{1/2} \rightarrow f_{\sim} = f_c / [1 - m^2]^{1/2}$$

$$1 - m^2 = (f_c / f_{\sim})^2$$

$$m = [1 - (f_c / f_{\sim})^2]^{1/2}$$

$$= [1 - (\omega_c / \omega_{\sim})^2]^{1/2} \quad 2-37$$

Untuk mencari harga frekuensi cut-off f_c dan frekuensi peredaman tak terbatas f_{\sim} , harga 'm' dapat dihitung dengan persamaan 2-37. Dengan mengetahui f_c , R_o dan 'm', maka harga komponen m-derived low pass filter dapat dihitung.

π -section

Gambar 2.27 menunjukkan m-derived low pass π -section filter, dibuat dari gambar 2.24.b. dengan mengambil harga

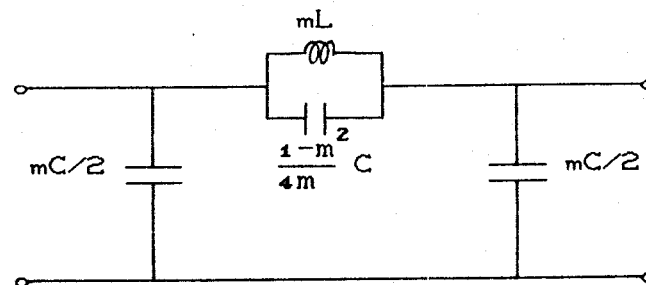
$$Z_1 = j\omega L \text{ dan } Z_2 = 1/j\omega C$$

Rangkaian seri dari kombinasi paralel impedansi

$$mj\omega L \text{ \& \; } [4m/(1 - m^2)] [1/j\omega C]$$

Induktansi mL paralel dengan kapasitansi $[(1 - m^2)/4m]C$

Rangkaian seri dari LC paralel dengan impedansi tak terhingga, saat terjadi resonansi transmisi tidak dapat berlangsung karena peredamannya besar sekali, dan besar reaktansi kapasitansi harus sama dengan reaktansi induktansi $\rightarrow [(1 - m^2)/4m] C = mL$



GAMBAR 2.27³¹

M-derived π -section Low Pass Filter

³¹ Ibid., hal. 119.

STAMP: 14 SEPTEMBER 1961

$$\omega_{\sim} mL = 1/\omega_{\sim} C ((1 - m^2)/4m)$$

$$\omega_{\sim}^2 = 4/LC (1 - m^2)$$

$$\omega_{\sim} = [2/LC]^{1/2} [1/(1 - m^2)]^{1/2}$$

$$f_{\sim} = [1/\pi LC]^{1/2} [1/(1 - m^2)]^{1/2}$$

Frekuensi cut-off $\rightarrow \omega_c = 2/\sqrt{LC}$

Maka $\omega_{\sim} = \omega_c / (1 - m^2)^{1/2}$

$f_{\sim} = f_c / (1 - m^2)^{1/2}$

Pada persamaan 2-37 besar 'm untuk f_c dan f_{\sim} harus dipilih dengan tepat agar pada pemakaian π -section bisa lebih baik.

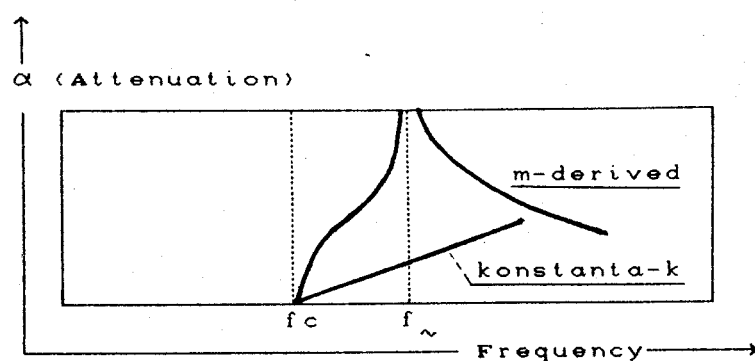
Peredaman, Pergeseran Phase dan Karakteristik Z_o pada m-derived Low Pass Filter

Kurva pada gambar 2.28 memberikan karakteristik peredaman m-derived low pass filter. Titik-titik pada kurva menunjukkan karakteristik peredaman dalam hubungannya dengan konstanta- k filter. Pada m-derived filter, peredaman nol terjadi pada frekuensi cut-off f_c , peredaman bertambah besar ke arah frekuensi tak terhingga f_{\sim} , berarti dengan m-derived filter, frekuensi cut-off tercapai semakin tajam.

Ketajaman cut-off dapat diperbaiki dengan cara :

- mengurangi harga 'm
- menempatkan beberapa m-derived section secara tandem

Pada gambar 2.28 peredaman yang terjadi pada m-derived low pass filter turun dengan cepat pada frekuensi setelah f_{∞} . Keadaan seperti ini dapat dipertajam dengan menggabungkan konstanta- k section secara tandem dengan m-derived section.

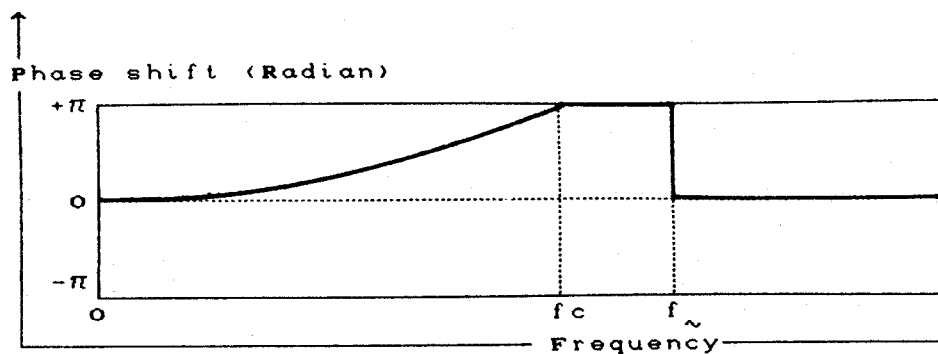


GAMBAR 2.28³²

Kurva Peredaman vs Frekuensi
M-derived dan Konstanta- k Filter

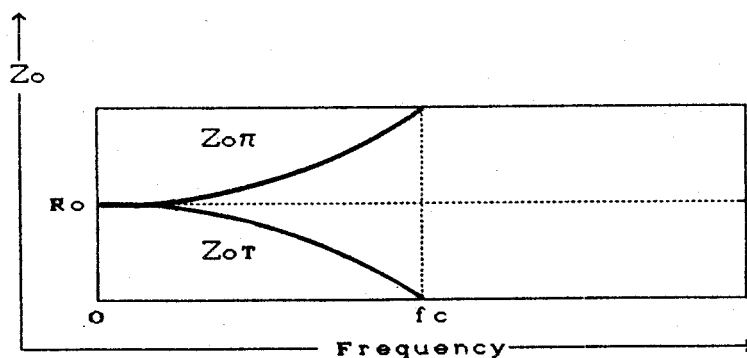
Gambar 2.29 menunjukkan karakteristik pergeseran phase m-derived section low pass filter.

³² Ibid., hal. 114.

GAMBAR 2.29³³

Karakteristik Pergeseran Phase
m-derived Low Pass Filter

Gambar 2.30 menunjukkan karakteristik Z_o m-derived low pass T-section dan π -section filter, karakteristik harus sama dengan konstanta- k sectionnya, besar $m \rightarrow 0 < m < 1$.

GAMBAR 2.30³⁴

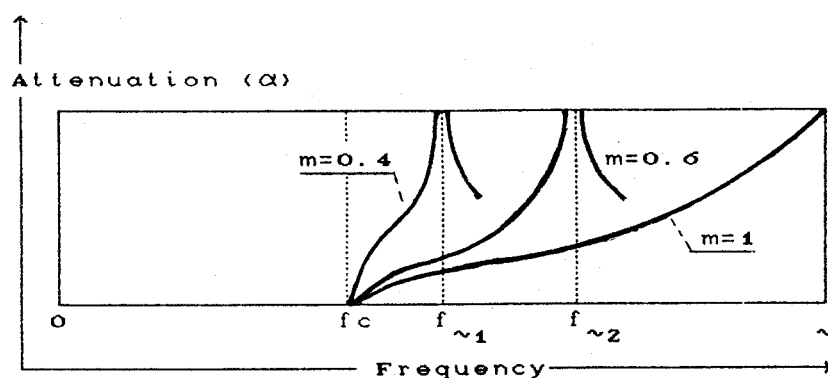
Karakteristik Impedansi Z_o
m-derived Low Pass Filter

³³ Ibid.

³⁴ Ibid., hal. 115.

Karakteristik peredaman pada m -derived section akan lain responnya dengan adanya perubahan m .

Gambar 2.31 menggambarkan frekuensi m -derived low pass filter dengan mengambil harga $m = 0.4, 0.6, 1$. Harga m semakin kecil maka ketajaman peredaman pada kurva akan bertambah. Untuk $m = 1$, m -derived filter kurang tajam seperti halnya konstanta- k filter.



GAMBAR 2.31³⁵

Kurva Peredaman vs Frekuensi

m -derived Low Pass Filter untuk harga m yang berbeda

B. M -derived High Pass Filter.

T-section

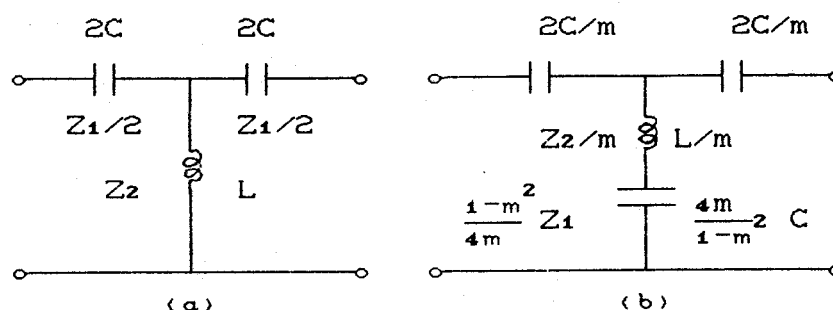
Gambar 2.32. a. konstanta- k T-section filter

b. m -derived T-section filter

³⁵ Ibid.

Dibuat seperti gambar 2.23.b. dengan mengambil harga

$$Z_1 = 1/j\omega C \text{ dan } Z_2 = j\omega L$$



GAMBAR 2.32³⁶

Konstanta- k dan m -derived T-section High Pass Filter

Impedansi rangkaian paralel

$$Z_2/m + ((1 - m^2)/4m) Z_1$$

Rangkaian paralel terdiri dari kapasitansi $4m/(1-m^2)C$ dan Induktansi L/m . LC paralel impedansinya dibuat mendekati nol pada saat resonansi, yaitu pada frekuensi f_{ω} .

Pada keadaan ini transmisi tidak dapat berlangsung karena peredamannya tinggi sekali akibat pemfilteran, dan besar reaktan kapasitansi harus sama dengan reaktan induktansi.

$$[4m/(1 - m^2)]C = L/m.$$

³⁶ Ibid.

$$1 / [4m / (1 - m^2) \omega_{\sim} C] = \omega_{\sim} L / m$$

$$\omega_{\sim}^2 = (1 - m^2) / 4LC$$

$$\omega_{\sim} = (1 - m^2)^{1/2} / 2(LC)^{1/2} \text{ rad/s} \quad 2-38$$

$$f_{\sim} = (1 - m^2)^{1/2} / 4\pi(LC)^{1/2} \text{ hz}$$

Frekuensi cut-off

$$\omega_c = 1 / 2(LC)^{1/2} \text{ rad/s} \quad 2-39$$

$$f_c = 1 / 4\pi (LC)^{1/2} \text{ hz}$$

Dari persamaan 2-38 dan 2-39

$$\omega_{\sim} = (1 - m^2)^{1/2} \omega_c \text{ rad/s} \quad 2-40$$

$$f_{\sim} = (1 - m^2)^{1/2} f_c \text{ hz} \quad 2-41$$

Maka

$$\begin{aligned} m &= [1 - (\omega_{\sim} / \omega_c)^2]^{1/2} \\ &= [1 - (f_{\sim} / f_c)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad 2-42$$

Untuk mendapatkan harga frekuensi f_c dan f_{\sim} besar 'm' dapat dihitung dengan persamaan 2-42.

Dengan diketahui lebih dulu besar f_c , R_o , 'm', maka harga komponen m-derived filter dapat dihitung.

π -section

Gambar 2.33.a. menunjukkan sebuah konstanta-k

π -section high pass filter

b. menunjukkan m-derived filter

M-derived section dibuat seperti pada gambar 2.25 dengan mengambil harga.

$$Z_1 = 1/j\omega C \text{ dan } Z_2 = j\omega L$$

Dapat juga dibuat dengan rangkaian seri dari tune circuit paralel, impedansi dibuat sebesar mungkin pada saat frekuensi paralel beresonansi, saat frekuensi resonansi, transmisi tidak dapat berlangsung karena terjadi peredaman, pada frekuensi f_{\sim} reaktansi kapasitansi harus sama dengan reaktansi induktansi.

$$C/m = 4mL / (1 - m^2)$$

$$\omega_{\sim} = 4mL / (1 - m^2)$$

$$= 1 / (\omega_{\sim} C/m)$$

$$\omega_{\sim} = (1 - m^2)^{1/2} / 2(LC)^{1/2}$$

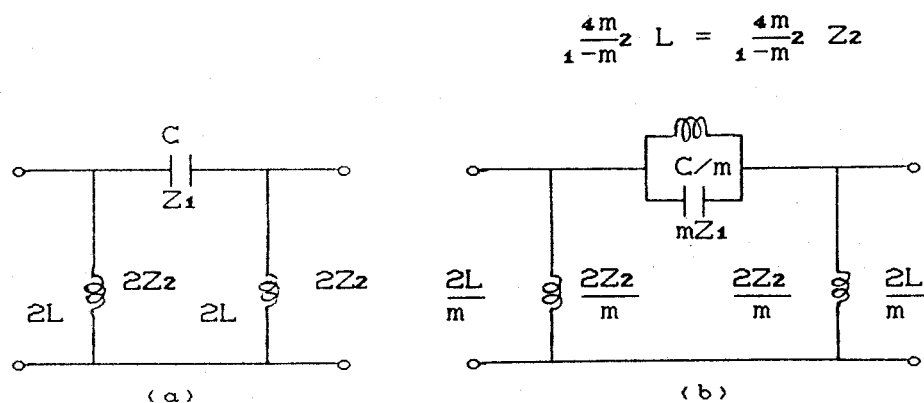
2-43

$$f_{\sim} = (1 - m^2)^{1/2} / 4\pi(LC)^{1/2}$$

Persamaan 2-43 memberikan harga ω_{\sim} untuk π -section.

Persamaan 2-38 memberikan harga ω_{\sim} untuk T-section.

Persamaan 2-40, 2-41, 2-42 masing-masing memberikan harga untuk ω_{\sim} , f_{\sim} dan 'm untuk π -section, m-derived high pass filter agar lebih baik.

GAMBAR 2.33³⁷

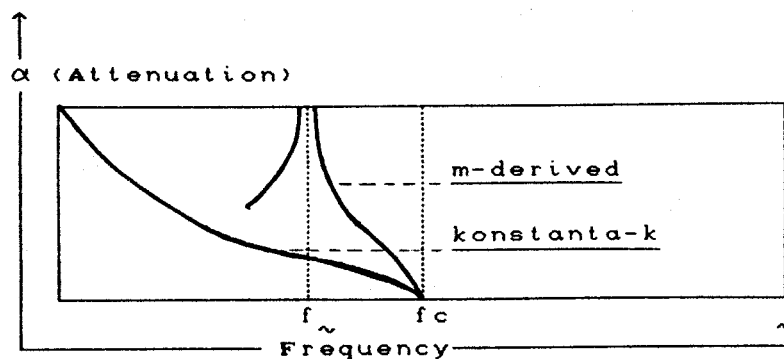
Konstanta- k dan m -derived π -section High Pass Filter

Peredamaan, Pergeseran Phase, Karakteristik

Z_0 pada m -derived High Pass Filter

Gambar 2.34 memberikan kurva peredaman vs frekuensi m -derived high pass filter. Titik-titik pada kurva menunjukkan konstanta- k filter, peredaman mendekati nol terjadi pada frekuensi antara f_c sampai f_{∞} , peredaman pada f_{∞} lebih kecil dibanding pada f_c . Konstanta- k filter peredaman besar terjadi pada frekuensi nol.

³⁷ Ibid., hal. 117.

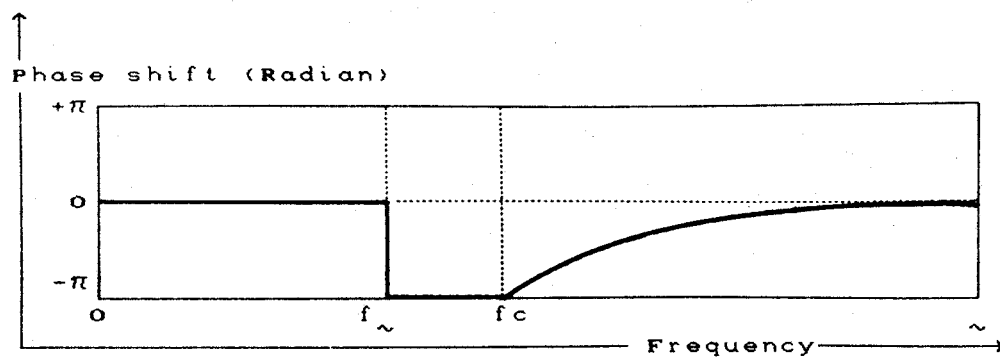
GAMBAR 2.34³⁸

Kurva Peredaman vs Frekuensi

m-derived High Pass Filter

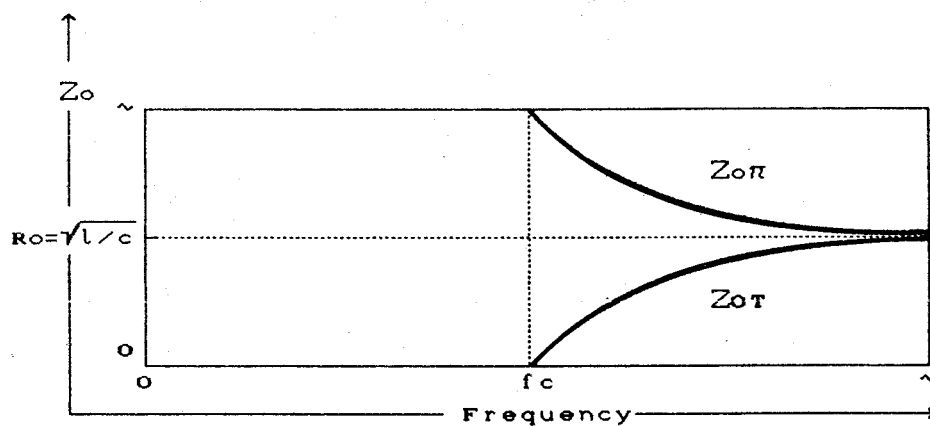
Ketajaman cut-off dapat diatur dengan m-derived filter. Jika diinginkan lebih tajam lagi, maka besar 'm' harus dikurangi, ketajaman kurva peredaman dapat juga ditambah dengan jalan menempatkan beberapa section m-derived secara tandem. M-derived high pass filter, peredamannya berkurang dengan berkurangnya frekuensi sebelum f_{\sim} . Keadaan seperti ini dapat diperbaiki dengan cara menggabungkan section secara tandem, gambar 2.35 berikut menunjukkan kurva pergeseran phase vs frekuensi untuk m-derived high pass filter.

³⁸ Ibid., hal. 118.

GAMBAR 2.35³⁹

Karakteristik Pergeseran Phase vs Frekuensi

m-derived High Pass Filter

GAMBAR 2.36⁴⁰

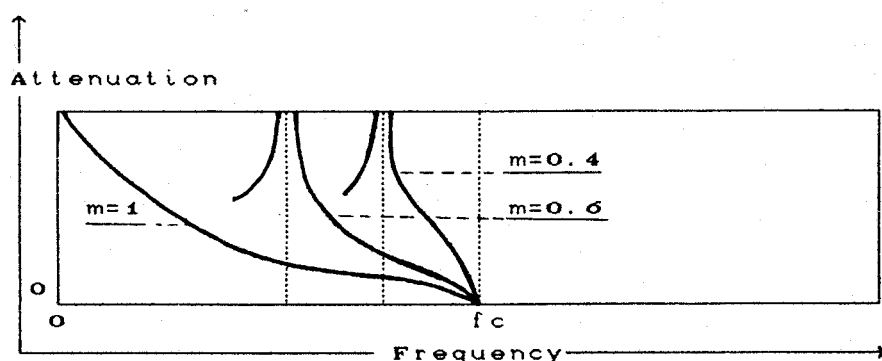
Kurva Impedansi Z_o vs Frekuensi

m-derived High Pass Filter

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid., hal. 119.

Konstanta m pada m -derived high pass filter menghasilkan ketajaman peredaman pada attenuation band. Gambar 2.37 menunjukkan karakteristik peredaman vs frekuensi m -derived high pass filter untuk harga m sama dengan 0.4, 0.6, dan 1. Dapat dilihat apabila besar m berkurang, maka ketajaman kurva peredaman bertambah. Untuk $m = 1$, m -derived section seperti halnya pada konstanta- k section.



GAMBAR 2.37⁴¹

Kurva Peredaman vs Frekuensi

m -derived High Pass Filter untuk harga m yang berbeda

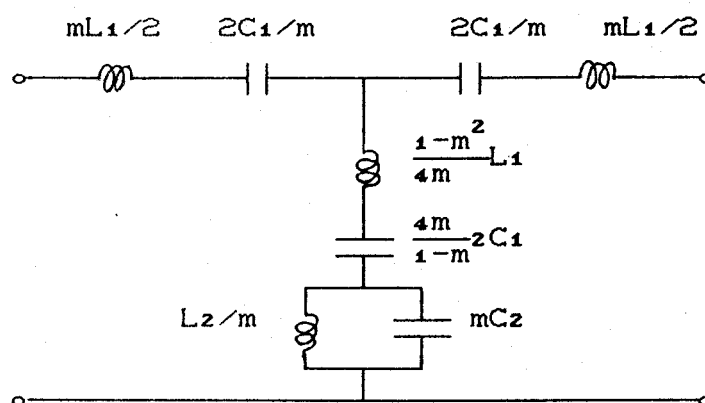
⁴¹ Ibid., hal. 119.

C. M-derived Band Pass Filter.

Gambar 2.19 menunjukkan T-section dengan konstanta- m band pass filter. Hubungan m -derived T-section band pass filter dapat dicapai dengan cara :

- melengkapi rangkaian impedansi seri Z_1 dan rangkaian impedansi paralel Z_2
- memasukkan harga Z_1 dan Z_2 pada m -derived T-section seperti pada gambar 2.23.b.

Hasil m -derived T-section band pass filter seperti pada gambar 2.38 dibawah ini.



GAMBAR 2.38⁴²

M-derived T-section Band Pass Filter

Peredaman tak terhingga dihasilkan apabila impedansi paralel berharga nol $\rightarrow Z_2/m + (1 - m^2)Z_1/4m = 0$

⁴² Ibid., hal. 127.

Impedansi Z_1 dan Z_2 dari konstanta- k T-section band pass filter dirangkai seperti pada gambar 2.19

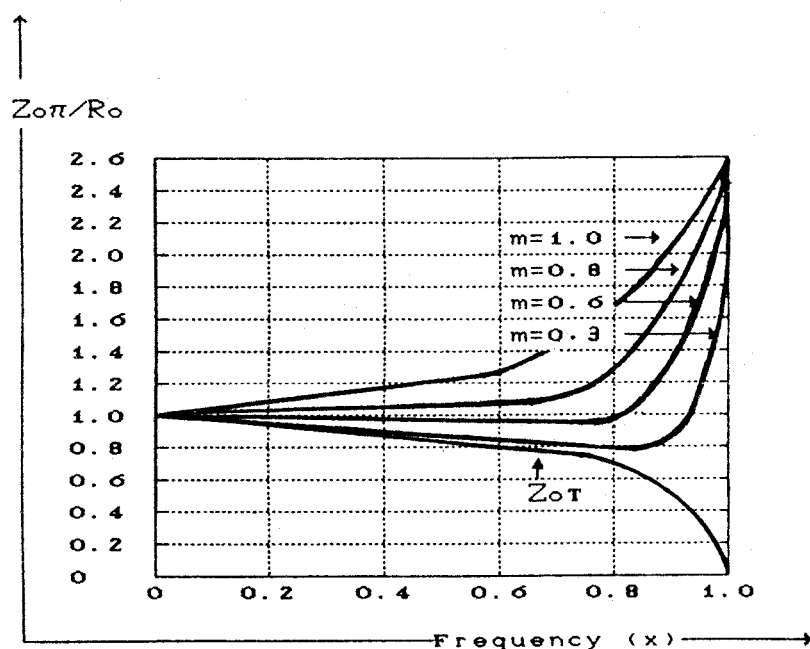
$$(1/m)[j\omega_{\sim}L_2/(1-\omega_{\sim}^2)L_2C_2] + j[(1-m^2)/4m](\omega_{\sim}^2 L_1C_1 - 1/\omega_{\sim}C_1) = 0$$

$$(\omega_{\sim}^2 L_2C_1) / (\omega_{\sim}^2 L_2C_2 - 1) = [(1-m^2)/4] (\omega_{\sim}^2 L_1C_1 - 1) \quad 2-44$$

Apabila $L_1C_1 = L_2C_2 = 1 / \omega_c^2 \quad 2-45$

Persamaan 2-44 digabung persamaan 2-45

$$[(1-m^2)/4] [(f_{\sim}^2 / f_o^2) - 1]^2 = 4\pi f_{\sim}^2 L_1C_1 \quad 2-46$$



GAMBAR 2.39⁴³

Perubahan $Z_o\pi/R_o$

terhadap Frekuensi untuk harga 'm yang berbeda

⁴³ Ibid., hal. 128.

$$C_1 = (f_2 - f_1) / 4\pi R_0 f_1 f_2$$

$$L_2 = R_0 (f_2 - f_1) / 4\pi f_1 f_2$$

Harga diatas dimasukan dalam persamaan 2-46

$$[(1-m^2)/4] [(f_{\sim}^2 / f_0^2) - 1]^2 = 4\pi^2 f_{\sim}^2 [R_0 (f_2 - f_1) / 4\pi f_1 f_2] [(f_2 - f_1) / 4\pi R_0 f_1 f_2]$$

Untuk $f_1 f_2 = f_0^2$

$$[(1-m^2)/4] [(f_{\sim}^2 / f_0^2) - 1]^2 = (f_{\sim}^2 / 4f_0^2) (f_2 - f_1)^2$$

$$(1 - m^2)(f_{\sim}^2 - f_1 f_2)^2 = f_{\sim}^2 (f_2 - f_1)^2$$

$$(1 - m^2)^{1/2} (f_{\sim}^2 - f_1 f_2) = f_{\sim} (f_2 - f_1)$$

Misalkan $(1 - m^2)^{1/2} = x$

$$x f_{\sim}^2 - f_{\sim} (f_2 - f_1) - x f_1 f_2 = 0$$

$$f_{\sim} = \{ (f_2 - f_1) \pm [(f_2 - f_1)^2 + 4x^2 f_1 f_2]^{1/2} \} / 2x$$

$$f_{\sim} = (f_2 - f_1) / [2(1 - m^2)^{1/2}] \pm \{ [(f_2 - f_1)^2 / 4(1 - m^2)] + f_1 f_2 \}^{1/2} \quad 2-47$$

Ada dua harga untuk f_{\sim}

$$f_{\sim 1} = \{ [(f_2 - f_1)^2 / 4(1 - m^2)] + f_1 f_2 \}^{1/2} - [(f_2 - f_1) / 2(1 - m^2)^{1/2}]$$

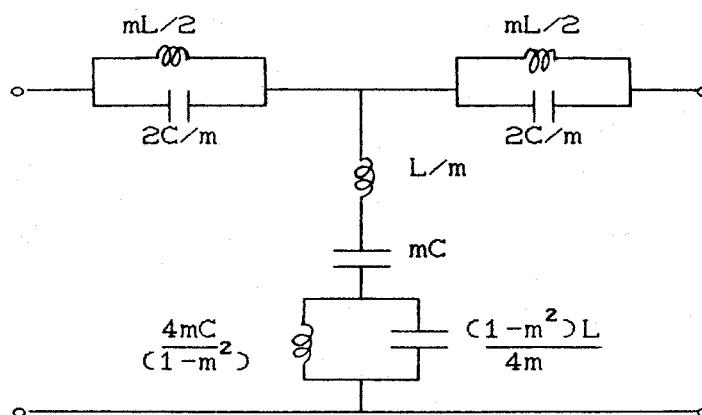
$$f_{\sim 2} = \{ [(f_2 - f_1)^2 / 4(1 - m^2)] + f_1 f_2 \}^{1/2} + [(f_2 - f_1) / 2(1 - m^2)^{1/2}]$$

$$(f_{\sim 2} - f_{\sim 1}) = [(f_2 - f_1) / (1 - m^2)^{1/2}]$$

$$m = \{ 1 - [(f_2 - f_1) / (f_{\sim 2} - f_{\sim 1})]^2 \}^{1/2}$$

D. M-derived Band Stop Filter.

Gambar dibawah ini menunjukkan m-derived band stop filter



GAMBAR 2. 40⁴⁴

M-derived T-section Band Stop Filter

Peredaman tak terhingga dihasilkan apabila impedansi paralel berharga nol $\rightarrow Z_2/m + (1 - m^2)Z_1/4m = 0$.

Dimana impedansi Z_1 dan Z_2 didapat dari konstanta- λ band stop filter.

$$Z_1 = j\omega L_1 / (1 - \omega^2 L_1 C_1) \quad \text{dan} \quad Z_2 = j(\omega^2 L_2 C_2 - 1) / \omega C_2$$

$$L_1 = R_o(f_2 - f_1) / \pi f_1 f_2$$

$$C_2 = (f_2 - f_1) / \pi R_o f_1 f_2$$

$$f_o = \sqrt{f_1 f_2}$$

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 = 1 / \omega_o^2$$

$$Z_2' = Z_2/m + (1 - m^2)Z_1/4m$$

$$= j(f_o^2 - f^2)R_o / 2f(f_2 - f_1)m + j2fR_o(f_2 - f_1)(1 - m^2) / (f_o^2 - f^2)4m$$

⁴⁴ Ramabhadran S., hal. 92.

$$j(f_{\sim}^2 - f_o^2)R_o(f_o^2 - f_{\sim}^2)4m + j2f_{\sim}R_o(f_2 - f_1)(1 - m^2)2f_{\sim}(f_2 - f_1)m = 0$$

$$-(f_{\sim}^2 - f_o^2)^2 + f_{\sim}^2(f_2 - f_1)^2(1 - m^2) = 0$$

$$f_{\sim}^2 - f_{\sim}(f_2 - f_1)(1 - m^2) - f_o^2 = 0$$

$$f_{\sim} = [(f_2 - f_1)(1 - m^2)^{1/2} \pm \{(f_2 - f_1)^2(1 - m^2) + 4f_o^2\}^{1/2}] / 2$$

$$f_{\sim 1} = [(f_2 - f_1)(1 - m^2)^{1/2} + \{(f_2 - f_1)^2(1 - m^2) + 4f_o^2\}^{1/2}] / 2$$

$$f_{\sim 2} = [(f_2 - f_1)(1 - m^2)^{1/2} - \{(f_2 - f_1)^2(1 - m^2) + 4f_o^2\}^{1/2}] / 2$$

$$(f_{\sim 2} - f_{\sim 1})^2 = (f_2 - f_1)^2(1 - m^2) + 4f_o^2$$

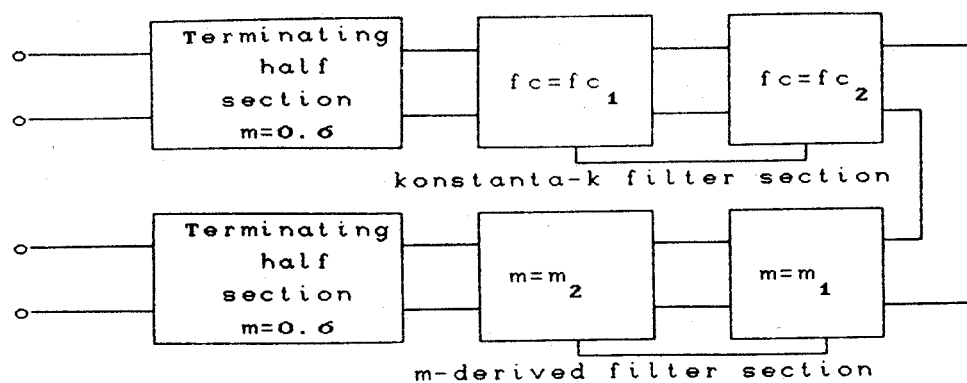
$$m = [1 - \{(f_{\sim 2} - f_{\sim 1})^2 - 4f_o^2\} / \{(f_2 - f_1)^2\}]^{1/2}$$

II.2.3.2.2.3. Komposit Filter.

Dengan konstanta- λ filter, peredaman pada daerah attenuation band berkurang dengan pelan menuju nol pada suatu frekuensi tersendiri. M-derived filter peredaman tinggi terjadi pada frekuensi tak terhingga dan pada akhir frekuensi cut-off peredaman mulai turun.

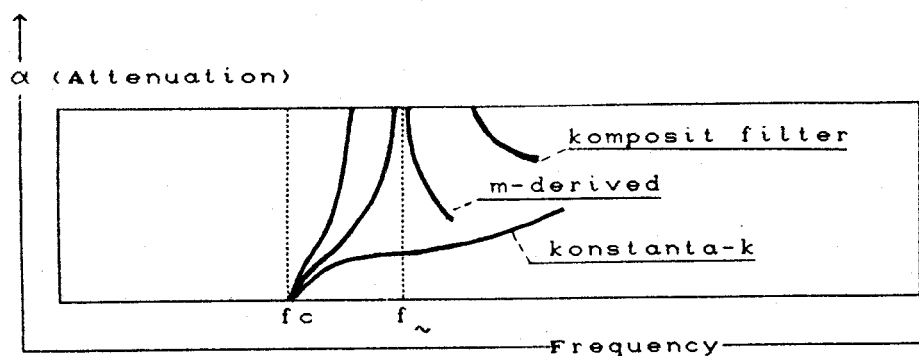
Komposit filter berisi :

- Satu atau lebih konstanta- λ section untuk menghasilkan cut-off dan pergeseran phase
- Satu atau lebih m-derived section untuk memberikan peredaman tak terhingga diluar pass band
- Dua terminal half-section dengan $m=0.6$ untuk impedansi input dan output

GAMBAR 2. 41⁴⁵

Blok diagram Komposit Filter

Gambar 2.41 menunjukkan sebuah tipe komposit filter menggunakan dua konstanta- k section, dua m -derived section dan sebuah terminal half-section pada masing-masing ujung.

GAMBAR 2. 42⁴⁶

Kurva Peredaman vs Frekuensi Komposit Filter

⁴⁵ Ibid., hal. 122.

⁴⁶ Ibid.

Variasi section disambung dengan sistem tandem. Komposit filter direncanakan agar sesuai dengan peredaman seperti gambar 2.42.

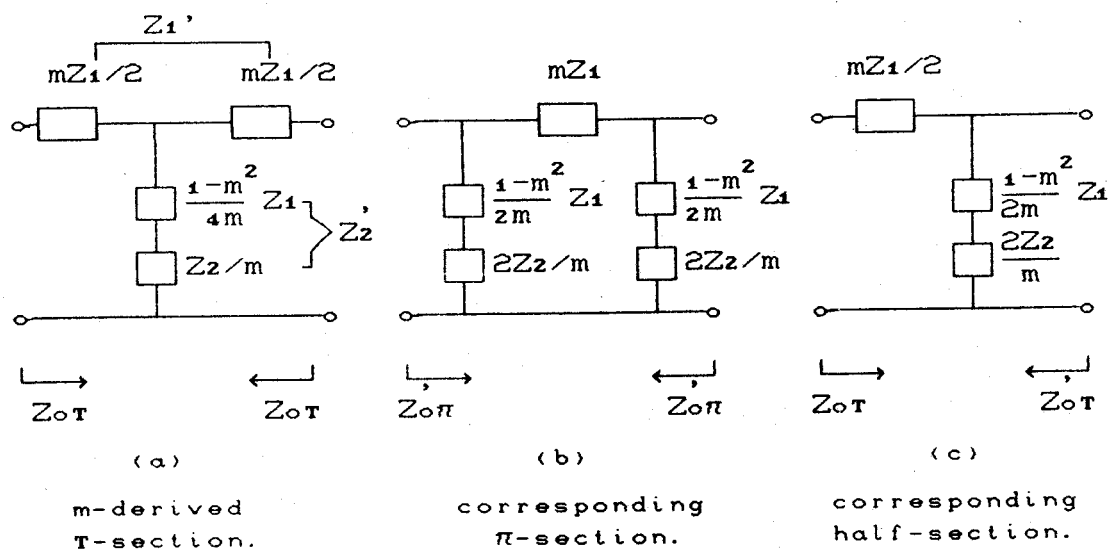
- konstanta- λ section
- m-derived section
- komposit filter dari kombinasi dua section

Konstanta- λ dan m-derived filter dapat memperbaiki grafik karakteristik peredaman vs frekuensi. Pada konstanta- λ filter peredaman terjadi dengan pelan pada daerah attenuation band. Sedangkan pada m-derived filter peredamannya berkurang dengan cepat diluar frekuensi tak terhingga. Dengan mengkombinasikan konstanta- λ section dengan m-derived section membentuk sebuah komposit filter, kurva attenuation frekuensi menjadi lebih jauh dari kedudukan kedua section filter. Dari gambar 2.42 pada frekuensi cut-off sampai frekuensi tak terhingga, peredaman timbul dengan cepat dan pada frekuensi diluar frekuensi tak terhingga peredaman berkurang lagi.

II.2.3.2.2.4. Terminating Half Section.

Pada umumnya kekurangan konstanta- λ filter section terletak pada impedansi pass bandnya, walaupun resistip dapat merubah frekuensi yang akhirnya menyebabkan mismatch dan terjadi pantulan, sehingga menyebabkan kerugian. Lebih baik dengan menggunakan konstanta- λ filter bentuk half-section atau L-section untuk mengatur impedansi pada masing-masing akhir komposit filter.

Gambar 2.43.a. menunjukkan sebuah m -derived T-section, impedansi section dinyatakan dengan Z_0T pada tiap masing-masing ujung, T-section dipersiapkan seperti pada gambar 2.43.b. hasil gabungan π -section, impedansi Z_0T dari π -section dipecah menjadi dua bagian. Satu half-section seperti pada gambar 2.43.c. Impedansi imajiner half-section dilihat dari akhir pada Z_0T dan $Z_0\pi$ seperti pada gambar 2.43.c.



GAMBAR 2.43⁴⁷

Half π -section dari m -derived T-section

⁴⁷ Ibid., hal. 129.

$$Z_{0\pi}' = Z_1' Z_2' / Z_{0T}$$

$$Z_1' = m Z_1 \quad \text{dan} \quad Z_2' = (Z_2/m) + [Z_1(1 - m^2)/4m]$$

$$Z_{0T} = [(Z_1^2/4) + (Z_1 Z_2)]^{1/2}$$

$$\begin{aligned} Z_{0\pi}' &= m Z_1 [(Z_2/m) + Z_1(1 - m^2)/4m] / (Z_1 Z_2)^{1/2} (1 + Z_1/4Z_2)^{1/2} \\ &= Z_1 Z_2 \{1 + [(1 - m^2)Z_1/4Z_2]\} / (Z_1 Z_2)^{1/2} (1 + Z_1/4Z_2)^{1/2} \end{aligned}$$

2-48

$$R_o = \sqrt{Z_1 Z_2} \quad \text{dan} \quad -Z_1/4Z_2 = +x^2$$

Persamaan 2-48 dapat diganti.

$$Z_{0\pi}' = [R_o^2(1 - (1 - m^2)x^2)] / [R_o(1 - x^2)^{1/2}]$$

$$= [R_o(1 - x^2(1 - m^2))] / [(1 - x^2)^{1/2}] \quad 2-49$$

$$Z_{0\pi}'/R_o = [1 - x^2(1 - m^2) / (1 - x^2)^{1/2}]$$

$$Z_{0\pi} = Z_1 Z_2 / Z_{0T} = R_o^2 / [(Z_1^2/4) + Z_1 Z_2]^{1/2}$$

$$= R_o^2 / [(Z_1 Z_2)^{1/2} (1 + (Z_1/4Z_2))^{1/2}]$$

$$= R_o / (1 - x^2)^{1/2}$$

$Z_{0\pi}'$ adalah karakteristik impedansi π -section dari m -derived T-section, dan $Z_{0\pi}$ karakteristik impedansi konstanta- k π -section.

Untuk low pass filter

$$Z_1 = j\omega L \quad \text{dan} \quad Z_2 = 1/j\omega C$$

$$Z_1/4Z_2 = -\omega^2/\omega_c^2$$

$$x^2 = \omega^2/\omega_c^2$$

Persamaan 2-49 menjadi

$$Z_{0\pi}' = R_o \{1 - [(1 - m^2)(f^2/f_c^2)]\} / \{[1 - (f^2/f_c^2)^{1/2}]\}$$

Untuk high pass filter

$$Z_1 = 1/j\omega C \quad \text{dan} \quad Z_2 = j\omega L$$

$$Z_1/4Z_2 = 1/(j\omega C \times j4\omega L)$$

$$= -1/\omega^2 LC = -f_c^2/f^2$$

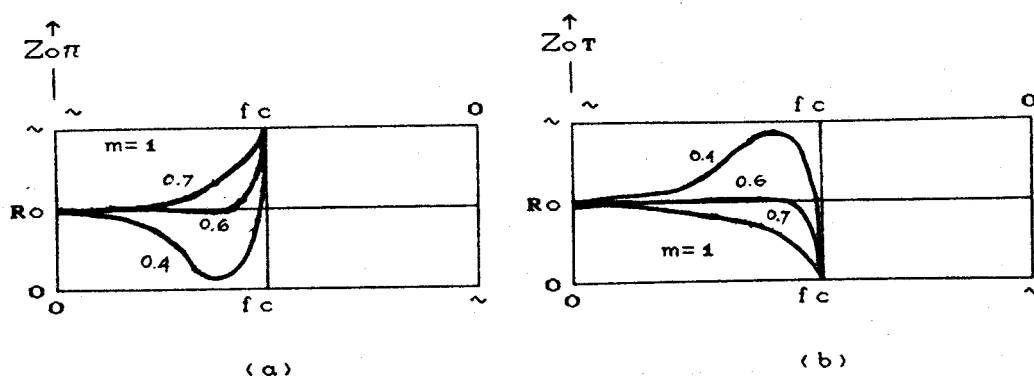
Persamaan 2-49 menjadi

$$Z_{0\pi} = R_o [1 - (1 - m^2) (f_c^2/f^2)] / [(1 - (f_c^2/f^2)^{1/2})]$$

$$\begin{aligned} \text{Maka} \quad x = (x^2)^{1/2} &= (Z_1/4Z_2)^{1/2} \quad \rightarrow f/f_c \rightarrow \text{lpf} \\ &\quad \rightarrow f_c/f \rightarrow \text{hpf} \end{aligned}$$

Kurva pada gambar 2.44 menunjukkan $Z_{0\pi}/R_o$ dengan frekuensi relatif x , yaitu (f/f_c) untuk low pass filter dan (f_c/f) untuk high pass filter, pada $m = 0.6$, $Z_{0\pi}$ harga impedansi $R_o = \sqrt{L/C}$.

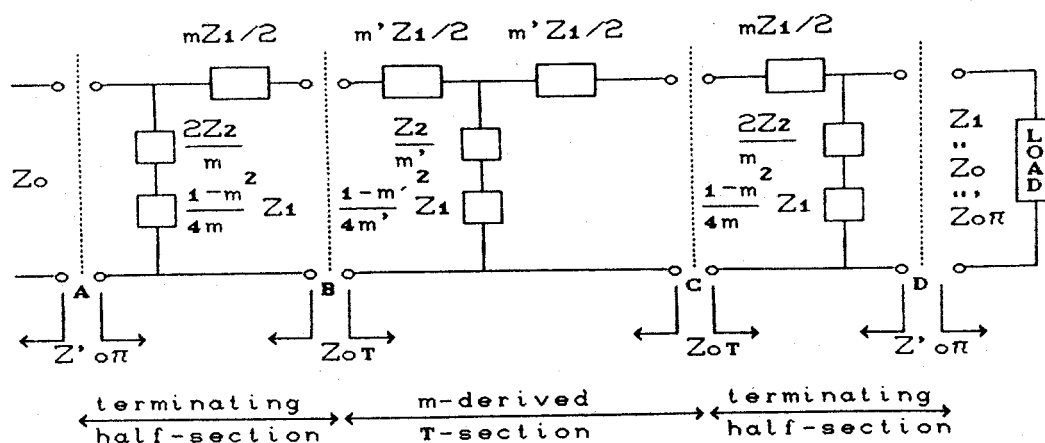
Berarti karakteristik impedansi π -section dengan $m=0.6$ dapat digabungkan pada impedansi yang ditetapkan. M-derived half-section atau L-section dengan harga $m=0.6$ dinamakan terminating half-section. Konstanta-A T-section atau m-derived dapat digabung menjadi sebuah half-section dengan $m = 0.6$ untuk menghindari mismatch. T-section diperlukan apabila karakteristik impedansi sama dengan harga nominal karakteristik impedansi $R_o = \sqrt{L/C}$ untuk L-section. Gambar 2.45 menunjukkan m-derived T-section berasal dari one-half π -section. Bagian kanan, impedansi beban $Z_{0T} = Z_{0\pi} = \sqrt{L/C}$ digabungkan, 'm yang dipakai untuk

GAMBAR 2.44⁴⁸

Perubahan $Z_{0\tau}$ dan $Z_{0\pi}$ Low Pass Filter terhadap
Frekuensi dengan harga 'm yang berbeda

T-section tidak perlu sama dengan 'm yang dipakai pada terminating half-section. Impedansi $Z_{0\tau}$ antara titik B dan C kurang efektif apabila dirubah harga 'm-nya untuk T-section, ini dapat juga dengan melengkapi rangkaian impedansi agar match pada semua titik dan apabila $m = 0.6$ impedansi filter terlihat menembus terminating half-section merupakan konstanta penting untuk pass band.

⁴⁸ Ibid., hal. 125.

GAMBAR 2.45⁴⁹

Rangkaian Matching Terminating Half Section

Untuk membuat komposit filter perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- Sebuah konstanta- λ T-section filter diperlukan untuk frekuensi cut-off dan pergeseran phase
- M-derived section dibuat berdasarkan T-section, harga m disesuaikan dengan harga frekuensi untuk peredaman tak terhingga
- Semua m-derived T-section dihubungkan secara tandem dan pada setiap ujung dipasang dengan half-section dengan mengambil harga $m = 0.6$.

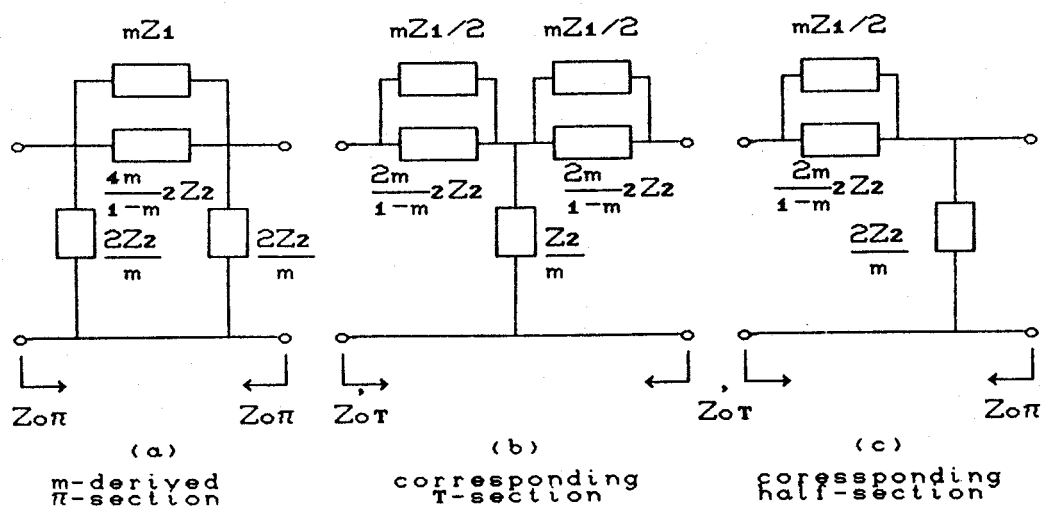
Dengan demikian sebuah filter apabila digabung ke lintasan transmisi atau antara potongan peralatan akan mempunyai

⁴⁹ Ibid., hal. 126.

impedansi resistip murni. Gambar 2.46.a. menunjukkan m -derived π -section filter. Elemen π -section dipersiapkan seperti gambar 2.46.b. dan hasilnya adalah T-section. Z_{0T} adalah impedansi T-section, T-section dibelah menjadi dua half-section seperti pada gambar 2.46.c.

Impedansi imaginer half-section dapat dilihat dari dua impedansi akhir $Z_{0\pi}$ dan Z_{0T} seperti ditunjukkan pada gambar 2.46.c. Untuk menyatakan impedansi imaginer Z_{0T} dapat dengan cara sederhana yaitu disebut dengan terminating half-section seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.43.

Impedansi imaginer dengan $m=0.6$ hampir tepat dengan harga $R_0 = \sqrt{LC}$ pada pass band.



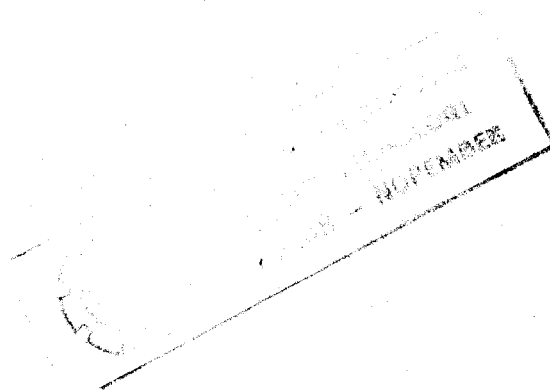
GAMBAR 2.46⁵⁰

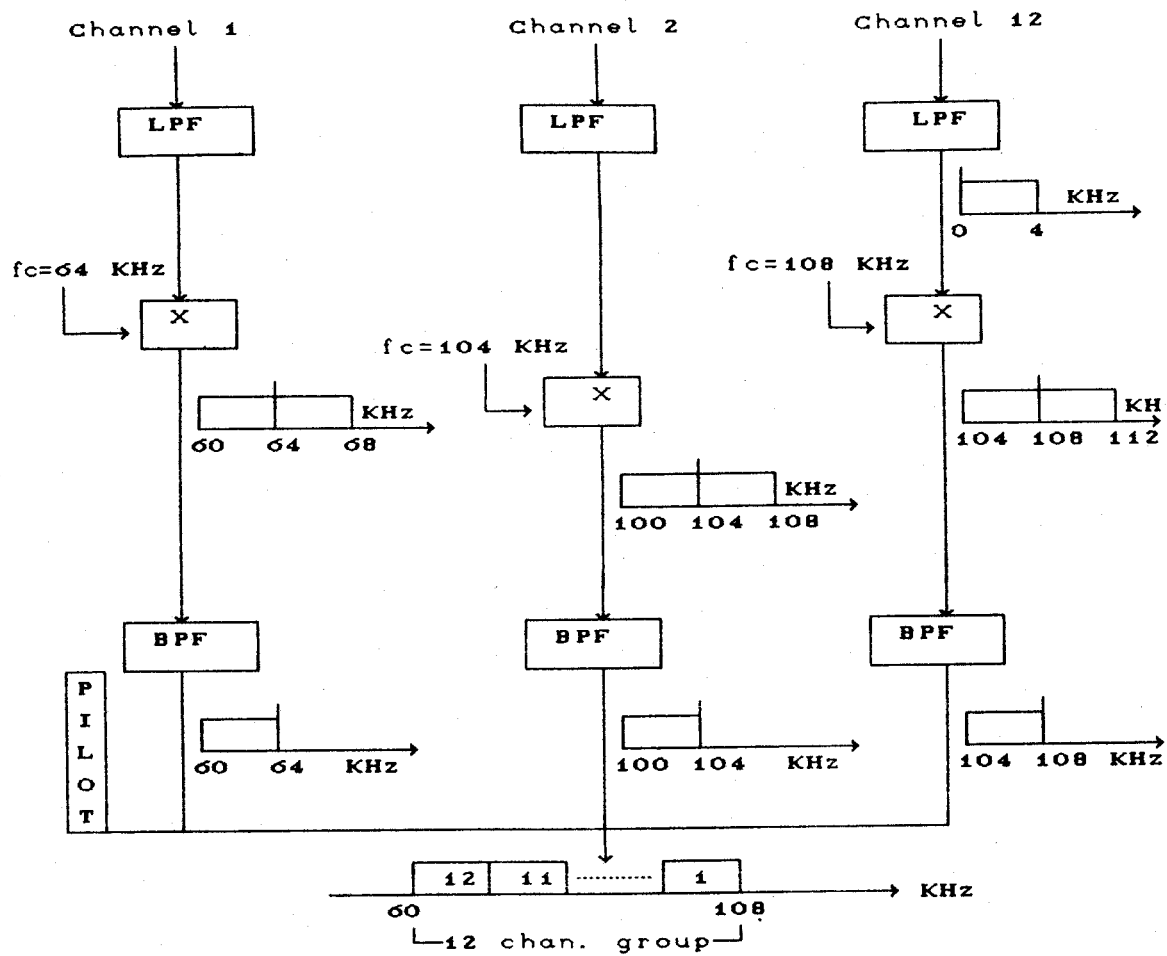
T-section dari m -derived π -section

⁵⁰ Ibid.

II.3. SISTEM FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING.

Dalam sistem frequency division multiplexing sinyal ditempatkan pada frekuensi dan spektrum tertentu, pada transmitter masing-masing sinyal base band digeser frekuensinya dengan proses modulasi AM, frekuensi carier dipilih agar sinyal termodulasi menempati tempat yang berdekatan dan tidak saling tumpang tindih, pemfilteran cut-off yang lebih tajam pada band edge diperlukan untuk mengurangi interferensi antar sinyal. Pada receiver, masing-masing sinyal base band diambil kembali dengan cara pemfilteran dan demodulasi, penggunaan frequency division multiplexing sebagai sarana transmisi telepon, standart multiplexing yang dipakai sekarang adalah hirarki FDM, tingkat pertama standart hirarki adalah group, melingkupi band frekuensi antara 60 KHz - 108 KHz, berisi 12 saluran suara masing-masing dengan bandwidth 4 KHz.

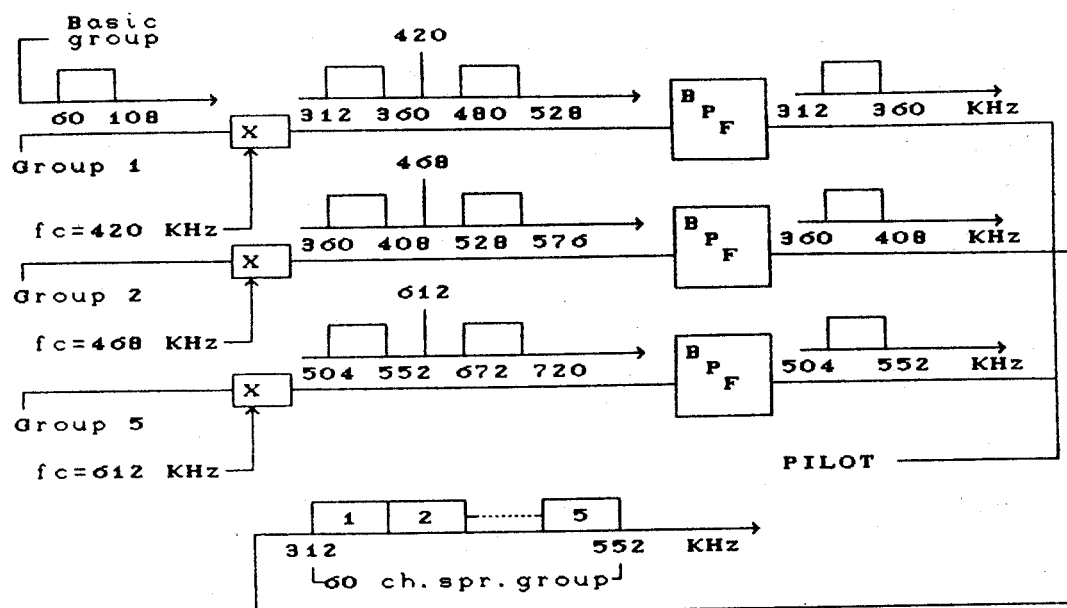


GAMBAR 2.47⁵¹

Pembentukan Group Sistem FDM

⁵¹ David R. Smith, Digital Transmission System, Van nostrand reinhold company, New York, 1985; hal. 285.

Gambar 2.47 menunjukkan cara kerja FDM group, pada transmitter masing-masing sinyal suara dilewatkan low pass filter, kemudian digunakan untuk memodulasi 12 carier dengan spasi 4 KHz tiap bagian, proses modulasi menghasilkan sinyal double side band, output dari 12 modulator dilewatkan band pass filter untuk membatasi masing-masing sinyal menjadi 4 KHz, dengan cara mengambil sinyal low side band seperti terlihat pada gambar 2.47. Pada receiver, band pass filter mengambil 12 sinyal untuk dimodulasi, pengaturan frekuensi carier antara transmitter dan receiver dilakukan dengan menggunakan pilot tone, pilot tone ditransmisikan bersama dengan sinyal group, pada umumnya untuk memisahkan saluran suara digunakan guard band, pada receiver pilot tone digunakan untuk mengatur frekuensi pada proses demodulasi. Level berikutnya hirarki FDM adalah super group, dibentuk dengan mengkombinasikan lima group kedalam sinyal 240 KHz, masing-masing group dimodulasi dengan frekuensi carier $(372 + 48n)$ KHz, $1 \leq n \leq 5$, band pass filter memilih low side band, lima sinyal digabung membentuk super group, menempati band frekuensi (312 - 552) KHz. Proses modulasi dan pemfilteran sinyal super group dapat dilihat pada gambar 2.48

GAMBAR 2.48⁵²

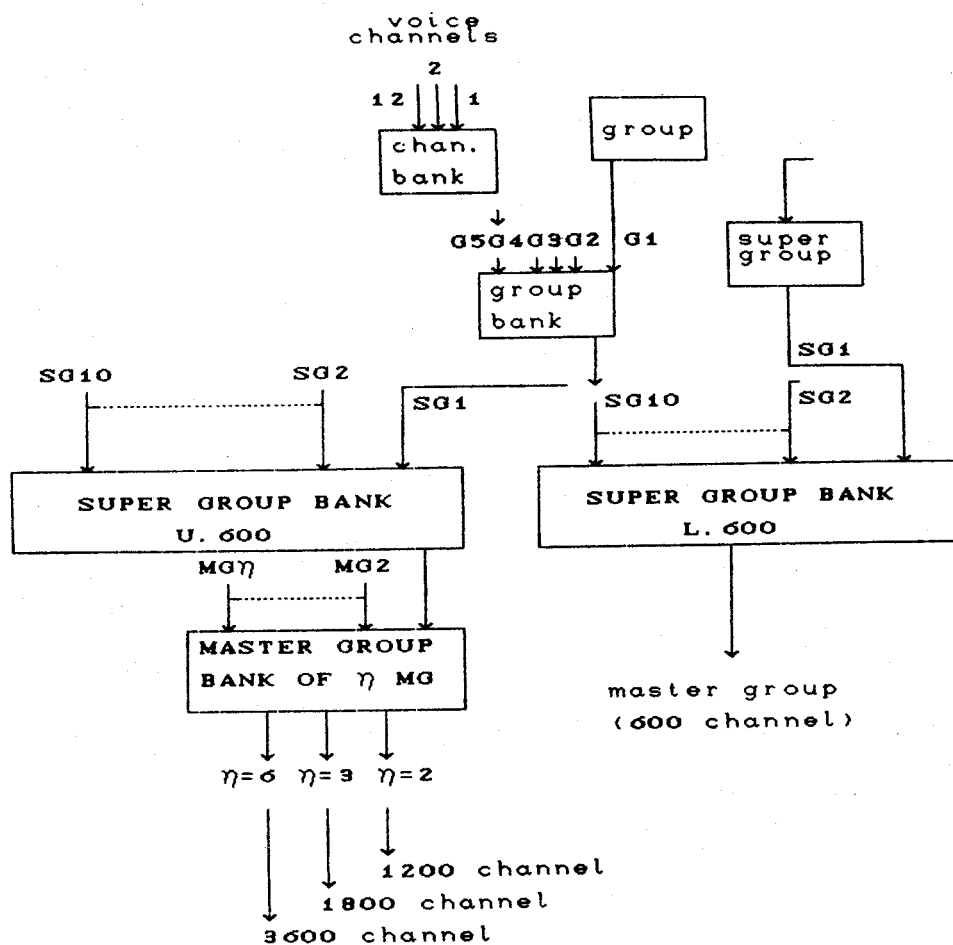
Pembentukan Super Group Sistem FDM

Level ketiga hirarki FDM adalah master group, dibuat dari lima atau sepuluh super group dengan standart CCITT atau AT&T, tingkatan FDM lebih tinggi dapat dilihat pada standart hirarki tabel 2.2.

⁵² Ibid., hal. 286.

II.3.1. Hirarki FDM AT&T.

Gambar 2.49 menunjukkan blok diagram hirarki FDM AT&T, spektrum saluran suara (200 - 3400) Hz pada umumnya digunakan untuk transmisi suara. Group 12 saluran dibentuk dari modulasi single sideband dengan menggunakan peralatan chanel bank. Super group 60 saluran dibentuk dari kombinasi lima group yang digunakan pada sebuah group bank, dengan modulasi single side band, dihasilkan sinyal super group yang menempati 240 pada frekuensi (312-552)KHz. Proses modulasi group dan super group dapat dilihat pada gambar 2.47 dan gambar 2.48, spektrum sinyal yang sesuai dengan group atau super group dapat digandakan dengan menggunakan peralatan FDM.

GAMBAR 2. 49⁵³

Hirarki FDM AT&T

⁵³ Ibid., hal. 289.

Super group bank mengkombinasikan 10 super group kedalam master group 600 saluran, modulasi single side band digunakan untuk membentuk master group, seperti ditunjukkan gambar 2.49, master group L.600 menempati frekuensi band (60 - 2788) KHz digunakan pada transmisi sistem kabel coaxial. Master group U.600 menempati frekuensi antara (564 - 3084)KHz digunakan untuk membentuk sistem saluran yang lebih besar, contoh grouping adalah L3 carier terdiri dari tiga master group dan satu super group dikombinasikan menjadi 1800 saluran. L4 dibentuk dengan mengkombinasikan enam master group U.600 kedalam sebuah jumbo group 3600 saluran suara dengan menempati frekuensi antara (564-17.548)KHz. L5 mengkombinasikan tiga jumbo group dengan bandwidth 60 MHz berisi 10.800 saluran.

II.3.2. Hirarki FDM CCITT.

Standart group dan super group CCITT dan AT&T adalah sama, master group CCITT berisi lima super group 300 saluran suara, dengan menggunakan modulasi single side band, lima super group digeser frekuensinya sampai menghasilkan sebuah master group dengan spektrum (812 - 2044) KHz.

Tingkatan lebih tinggi hirarki FDM CCITT adalah super master group, berisi tiga master group menempati band frekuensi (8.516 - 12.388) KHz.

TABEL 2.2⁵⁴

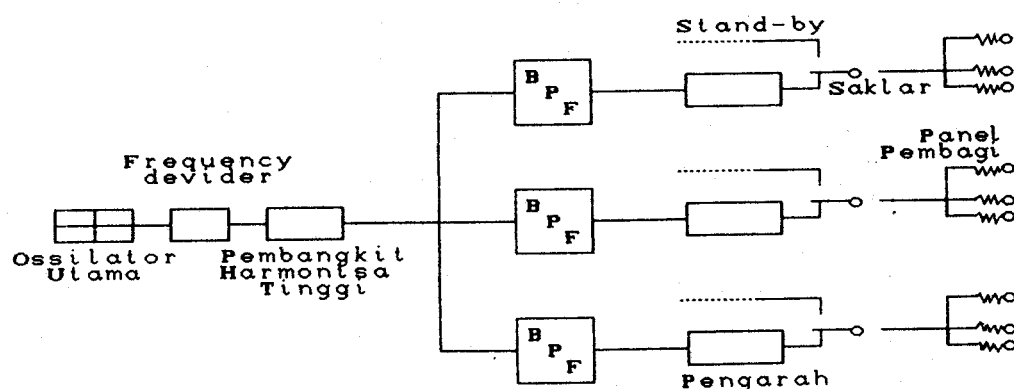
Hirarki FDM AT&T vs FDM CCITT

Number of voice-channel	Spektrum (kHz)	CCITT Standart	AT&T Standart
12	60-108	Group	Group
60	312-552	Super group	Super group
300	812-2044	Master group	Master group
600	60-2788 (L600) 564-3084 (U600)		
900	8516-12388	Super master group	
3.600	564-17548		Jumbo group
10.800	3000-60000		Jumbo group multiplex

⁵⁴ Ibid., hal. 288.

III.4. PENSUPLAIAN SUB-CARIER.

Pada sistem frequency division multiplexing banyak diperlukan suplai frekuensi carier seperti pada modulator, demodulator, repeater dan pada proses pembentukan gelombang AM sampai terbentuk sinyal lower side band, dengan demikian diperlukan peralatan pensuplai carier yang baik dan tepat, mengingat kebutuhan carier satu dengan lainnya beda besar frekuensinya. Pada sistem frequency division multiplexing proses pembentukan sebuah group saluran dari beberapa saluran, dan tiap saluran beda besar frekuensi sub-cariernya, dengan demikian carier harus tepat. Peralatan suplai carier dapat dilihat pada gambar 2.50.

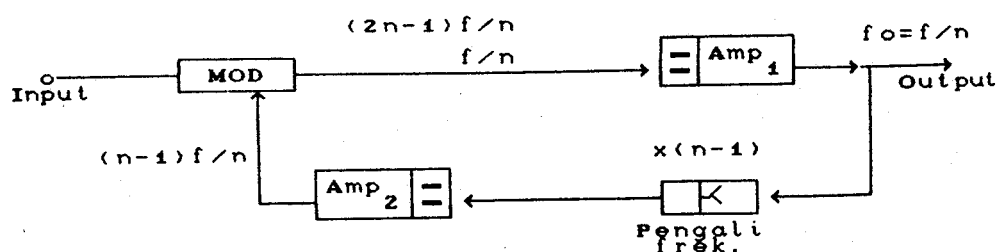


GAMBAR 2.50⁵⁵

Blok diagram Pensuplai Carier

⁵⁵ Suhana, Ir., Buku Pegangan Teknik Telekomunikasi, Pradya Paramita, Jakarta, 1984, hal. 100.

Osilator utama penghasil harmonisa disalurkan ke pembagi frekuensi, harmonisa diberi penguatan supaya lebih tinggi frekuensinya, pembagian frekuensi dilakukan dengan menggunakan band pass filter, frekuensi dibagi sesuai dengan yang dikehendaki dan dibawa ketempat yang memerlukan, misalkan ke modulator dengan amplifier pengarah langsung dibagikan sesuai yang diperlukan dengan alat pembagi. Osilator utama sebagai pembangkit frekuensi dasar harus konstan, tepat dan stabil, adanya tuntutan seperti ini biasanya osilator diambil dari bahan crystal agar stabil dan ditempatkan pada thermostat untuk menjaga temperatur komponen. Frequency divider dilengkapi dengan peralatan feedback frequency divider yang didalamnya terdapat ring modulator agar lebih teliti dan stabil. Feedback frequency divider dapat dilihat pada gambar 2.51

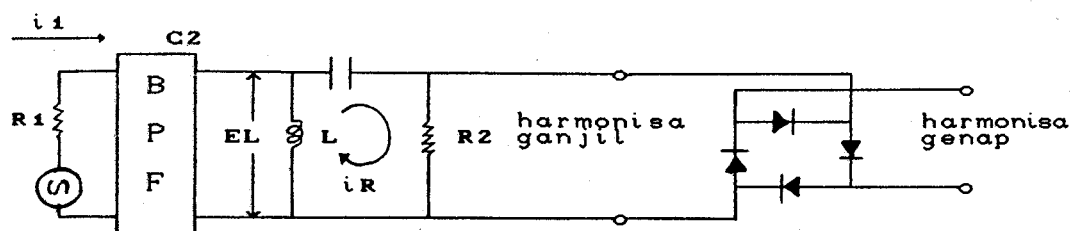


GAMBAR 2.51⁵⁶

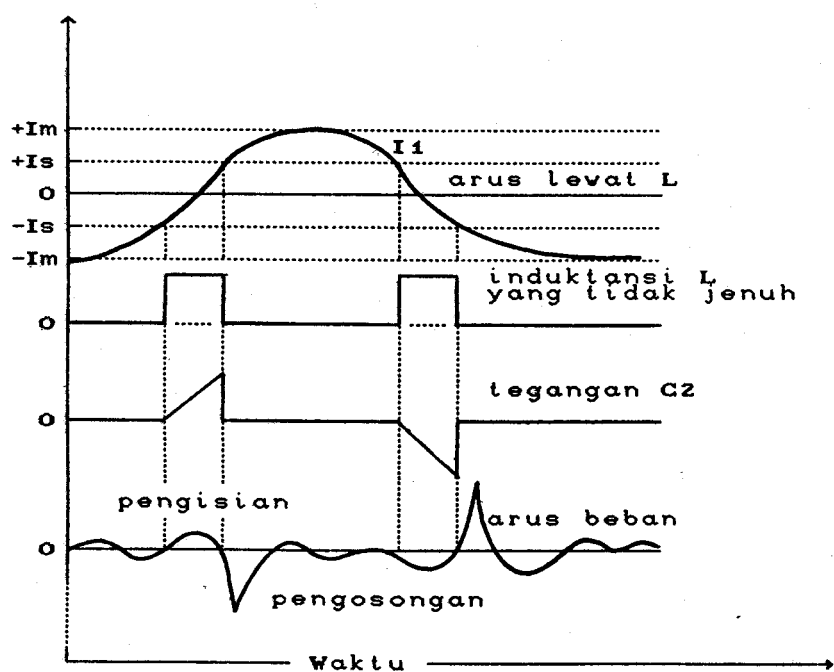
Feedback Frequency Divider

⁵⁶ Ibid., hal. 101.

Feedback mempunyai faktor pembagi $1:n$, apabila frequency divider diberi penguatan, maka pada output akan keluar noise kecil, noise yang dikembalikan sebesar $(n-1)$ kali besar frekuensinya, komponen perkalian frekuensi difilter sehingga diperoleh frekuensi sebesar $(n-1)f_0$, besar f_0 adalah $1/n$ input frekuensi, setelah dilewatkan band pass filter dibawa ke modulator dengan amplifier pengarah, misalkan input frekuensi f' , output modulator menjadi $f \pm f(n-1)/n$, yang dibawa ke modulator sebesar f/n dari low side band. Prinsip kerja pembangkit harmonisa dapat dilihat pada gambar 2.52. Saturable magnetic coil digunakan untuk menghasilkan harmonisa yang lebih tinggi, apabila gelombang berbentuk sinusoidal lewat lilitan pada level dibawah level tertentu, lilitan bekerja seperti halnya lilitan biasa, tetapi apabila level sinyal melebihi level yang ditentukan, maka terjadi kejenuhan pada inti lilitan, sehingga menyebabkan sifat induktansi berkurang, terjadi pengisian dan pengosongan kondensator C_2 berulang-ulang, dan terjadi pengosongan pulsa lewat beban R_2 sehingga arus pengosongan mengandung harmonisa ganjil dari frekuensi dasar.



(a)



(b)

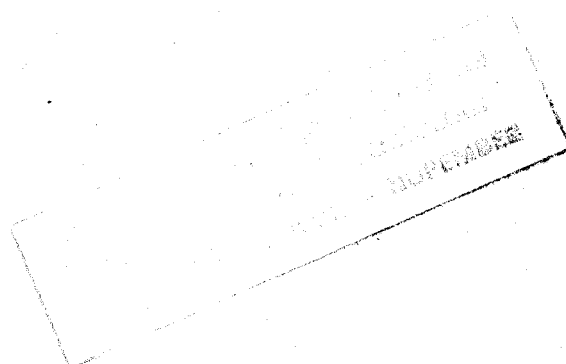
GAMBAR 2.52⁵⁷

(a). Rangkaian Pembangkit Harmonisa

(b). Grafik Arus Yang Dihasilkan Terhadap Waktu

⁵⁷ Ibid., hal. 102.

Untuk merubah sinyal pengosongan menjadi harmonisa genap dapat digunakan alat penyearah penuh, dengan demikian didapatkan carier yang lebih tinggi dengan menggunakan band pass filter, selanjutnya dikuatkan dengan menggunakan amplifier pengarah ke masing-masing beban lewat alat pembagi. Peralatan pensuplai carier pada sistem frequency division multiplexing dilengkapi dengan stand-by equipment, apabila terjadi kemacetan atau ada gangguan tidak akan terhenti, sebab kalau proses suplai carier macet, jalannya proses transmisi sistem frequency division multiplexing akan kacau, dengan demikian komponen pensuplai carier harus dipilih dengan tepat faktor kestabilan dan keandalannya.



B A B III

P E M B A H A S A N

III.1. PROSES MODULASI PADA SISTEM FDM.

Sistem frequency division multiplexing adalah sistem digunakan untuk mengirimkan beberapa sinyal informasi secara serentak dengan menggunakan sub-carier pada masing-masing sinyal informasi. Gelombang yang telah dimodulasi dijumlahkan secara paralel membentuk gelombang baru disebut dengan sinyal base band, sinyal base band selanjutnya yang ditransmisikan. Biasanya sistem modulasi yang digunakan untuk frequency division multiplexing adalah modulasi amplitudo, gelombang AM didapat dari pemodulasian sinyal carier dan sinyal informasi.

Untuk lebih jelasnya dapat diambil contoh sebagai berikut

$$S_{car} = C \cos (f_c t + \phi_c)$$

$$S_{inf} = I \cos (f_i t + \phi_i)$$

Dimana C, f_c, ϕ_c → Amplitudo, frekuensi dan
phase sinyal Carier

I, f_i, ϕ_i → Amplitudo, frekuensi dan
phase sinyal Informasi

Carrier bermodulasi dapat diuraikan sebagai berikut

$$\begin{aligned} S_{\text{mod}} &= (C + I \cos(\phi_i t + \phi_i)) \cos(\phi_c t + \phi_c) \\ &= C \cos(\phi_c t + \phi_c) + \frac{d_m C}{2} \cos((\phi_c + \phi_i)t + (\phi_c + \phi_i)) \\ &\quad + \frac{d_m C}{2} \cos((\phi_c - \phi_i)t + (\phi_c - \phi_i)) \end{aligned}$$

* d_m disebut derajat modulasi

Besarnya $\rightarrow 0 < d_m \leq 1$

$d_m = 1 \rightarrow$ disebut modulasi sempurna

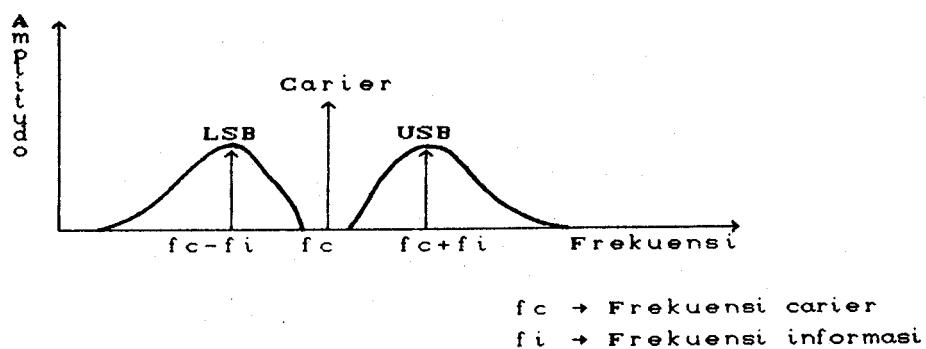
$$S_{\text{mod}} = S_{\text{car}} + \text{USB} + \text{LSB}$$

$$S_{\text{car}} = C \cos(\phi_c t + \phi_c)$$

$$\text{USB} = \frac{d_m C}{2} \cos((\phi_c + \phi_i)t + (\phi_c + \phi_i))$$

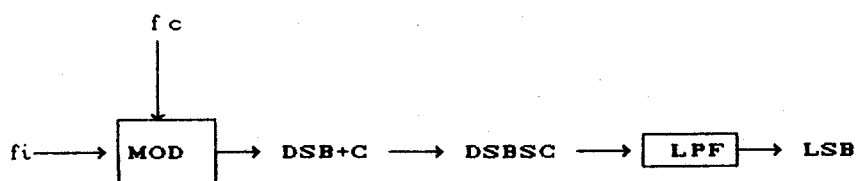
$$\text{LSB} = \frac{d_m C}{2} \cos((\phi_c - \phi_i)t + (\phi_c - \phi_i))$$

Dari proses modulasi diatas terlihat ada tiga bentuk sinyal yang dihasilkan yaitu sinyal carier, lower side band dan upper side band. Pada sistem frequency division multiplexing yang ditransmisikan bukan ketiga gelombang tersebut diatas, sebab apabila sinyal carier sampai terbawa transmisi, pada repeater akan terjadi over load, kejadian ini harus dihindari dengan cara pemfilteran low pass filter agar tinggal sinyal lower side band yang siap ditransmisikan.



GAMBAR 3.53

Spektrum Gelombang AM



GAMBAR 3.54

Proses pemfilteran cara mendapatkan

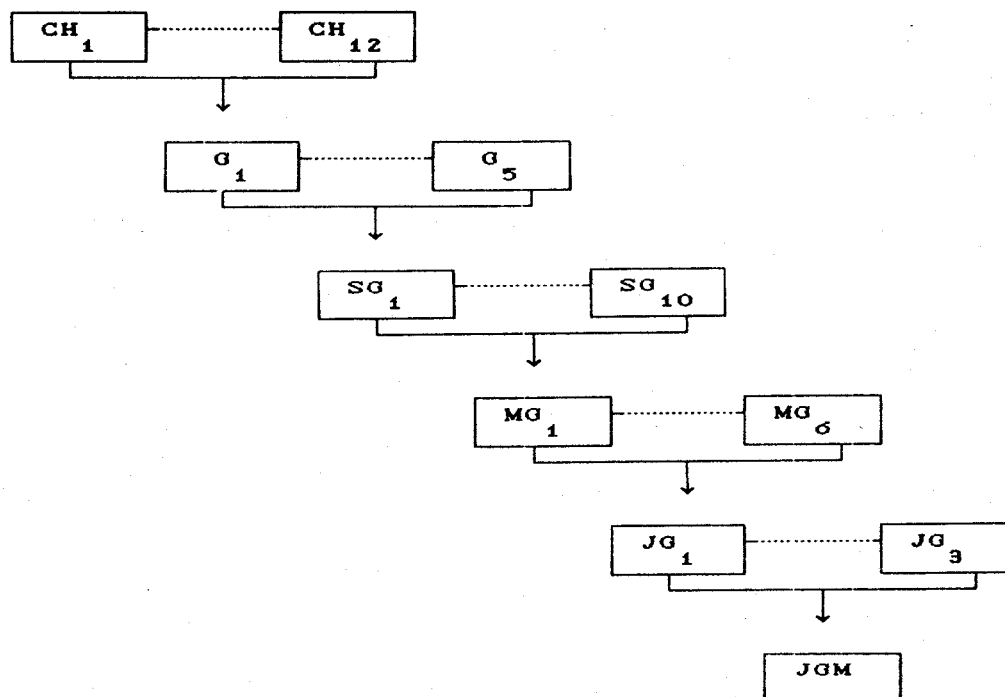
Low Side Band

Uraian diatas sebagai gambaran salah satu sinyal informasi yang akan ditransmisikan, dalam sistem frequency division multiplexing sinyal informasi digabung membentuk sebuah group terdiri dari duabelas saluran sinyal informasi, group digabung menjadi sebuah super group yang berisi lima group, super group digabung membentuk sebuah master group yang berisi sepuluh super group, master group digabung membentuk jumbo group yang berisi enam master group, jumbo group digabung membentuk sebuah jumbo master group berisi tiga jumbo group, pembagian diatas berdasarkan standart AT&T.

Untuk standart CCITT, sebuah group dibentuk dari duabelas saluran sinyal informasi, selanjutnya group digabung menjadi sebuah super group yang berisi lima group, super group digabung membentuk sebuah master group yang berisi lima super group, master group digabung membentuk sebuah super master group berisi tiga master group, untuk lebih jelasnya dapat dilihat tabel 2.2.

III.2. PROSES PEMBENTUKAN GROUP PADA SISTEM FDM.

III.2.1. Untuk Standart AT&T.

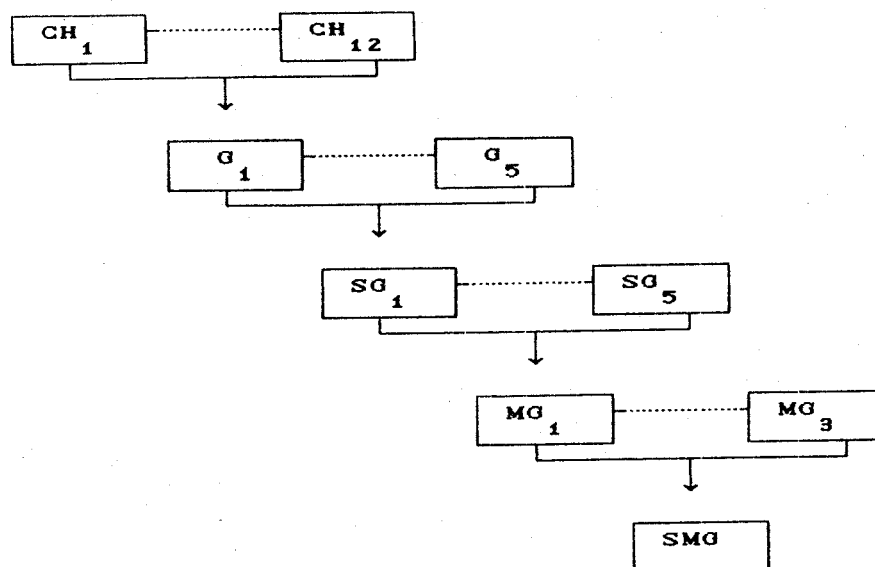


Keterangan : CH : Channel
 G : Group
 SG : Super Group
 MG : Master Group
 JG : Jumbo Group
 JGM : Jumbo Group Multiplex
 SMG : Super Master Group

GAMBAR 3.55

Pembentukan Group sampai Jumbo Group Multiplex

III.2.2. Untuk Standart CCITT.



Keterangan : CH : Channel
 G : Group
 SG : Super Group
 MG : Master Group
 SMG : Super Master Group

GAMBAR 3.56

Pembentukan Group sampai Super Master Group

Pada prakteknya filter yang digunakan sistem frequency division multiplexing adalah low pass filter dan band pass filter, low pass filter digunakan pada pembentukan group dari saluran, low pass filter juga digunakan untuk

mengambil sinyal low side band dari proses modulasi AM, sinyal dibawa sub-carier yang sudah ditentukan, selanjutnya difilter diambil pass bandnya untuk digabung menjadi sebuah group yang berisi duabelas saluran, dari group dibentuk menjadi sebuah super group, proses semacam ini berlangsung terus sampai terbentuk sebuah jumbo group multiplex yang berisi sepuluh ribu delapan ratus saluran, pada dasarnya proses penggunaan band pass filter adalah sama. Proses pemfilteran menggunakan low pass filter dan band pass filter dapat diambil contoh pembentukan group pada frequency division multiplexing seperti gambar 2.47

Semua saluran CH₁ sampai CH₁₂ menggunakan bandwidth sebesar 4 KHz, caranya dengan pemfilteran low pass filter, setelah itu sinyal 4 KHz dimodulasi dengan carier sehingga terbentuk double side band plus carier, sinyal ini dilewatkan low pass filter untuk diambil single side bandnya terus difilter lagi dengan band pass filter untuk mendapatkan low side band, pada sistem frequency division multiplexing tidak akan mentransmisikan tiga bentuk sinyal, dua single side band dan satu carier, tetapi cukup dengan satu single band dipilih bagian low side band, sebab apabila ditransmisikan semua menyebabkan over load pada repeater seperti yang telah dijelaskan diatas, dengan demikian CH₁ sampai CH₁₂ dapat digabung menjadi sebuah group, untuk menjaga antara group satu dengan lainnya supaya tidak saling tumpang tindih digunakan pilot

tone untuk pengendali, dan antara saluran satu dengan saluran lain digunakan guard band. Proses transmisi pada sistem frequency division multiplexing harus dijaga keefektifannya, spasi antara saluran satu dengan lainnya, spasi antara group satu dengan lainnya sampai pada sebuah jumbo group, untuk menghindari saling tumpang tindih perlu digunakan filter yang baik dan tepat dengan kondisi cut-off yang tajam, dengan demikian perlu digunakan methode pemfilteran yang tepat, agar didapatkan frekuensi seperti yang diinginkan.

III.3. PROSES PEMFILTERAN SISTEM FDM.

III.3.1. Filter Aktip.

Untuk proses pemfilteran pada pembentukan saluran 4KHz dan pembentukan group (60 - 108)KHz tidak dapat menggunakan filter pasip karena bandwidth terlalu kecil, dengan demikian filter yang digunakan adalah jenis filter aktif selain konstruksinya praktis, stabil, murah, peredaman dan pergeseran fase bisa juga diatur, dari grafik responsi Butterworth gambar 2.7 terlihat semakin besar n yang digunakan hasil cut-off yang tercapai semakin tajam. Untuk itu dalam perencanaan filter aktif nanti digunakan $n=4$, rangkaian untuk $n=4$ ini merupakan dua rangkaian order dua yang dikaskadekan sehingga dapat menghasilkan cut-off yang cukup tajam dan penggeseran phase dapat mencapai $\pi/2$

radian, untuk mencapai hasil yang lebih baik lagi dapat dilakukan pengambilan harga n yang lebih tinggi, dan rangkaian filter merupakan penggandaan sesuai dengan harga n sebelumnya.

III.3.1.1. Low Pass Filter saluran 4 KHz.

Frekuensi cut-off = 4 KHz

Dengan $n = 4$, terlihat dalam tabel 2.1 peredaman

$$2\alpha_1 = 0.765 \quad \text{dan} \quad 2\alpha_2 = 1.898$$

$$A_{v1} = 3 - 2\alpha_1 = 2.235$$

$$A_{v2} = 3 - 2\alpha_2 = 1.152$$

$$A_{v1} = (R_1 + R_1')/R_1$$

$$\text{untuk } R_1 = 10 \text{ K} \rightarrow R_1' = 12.35 \text{ KHz}$$

$$A_{v2} = (R_2 + R_2')/R_2$$

$$\text{untuk } R_2 = 10 \text{ K} \rightarrow R_2' = 1.52 \text{ KHz}$$

Untuk mencari besar C digunakan persamaan $f_o = 1/2\pi RC$

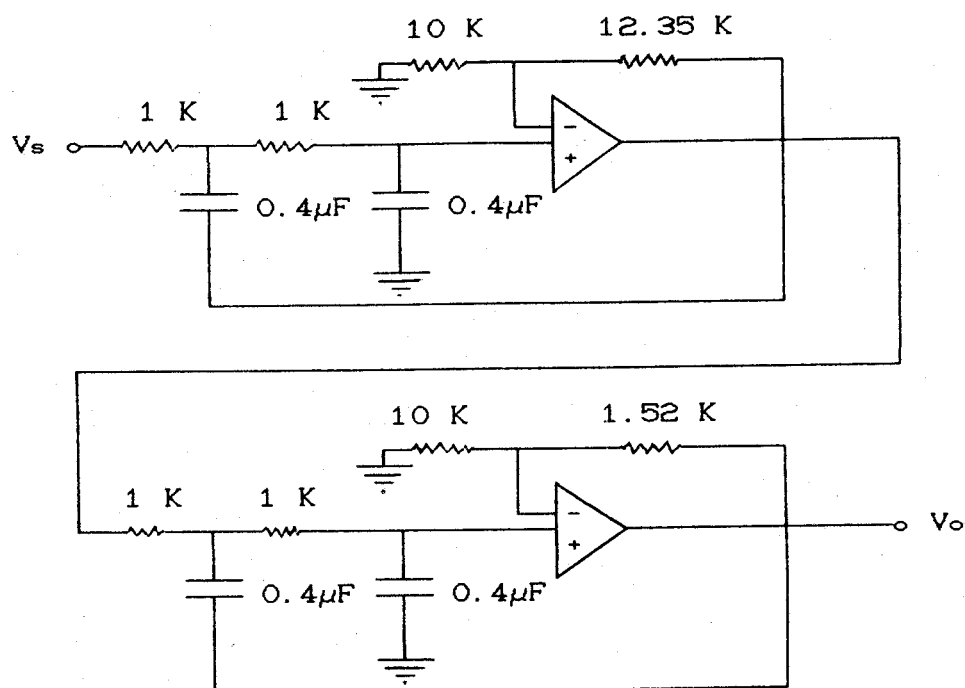
$$R = 1 \text{ KHz} \rightarrow C = 1/2\pi \cdot 4 \cdot 10^3$$

$$C = 0.397 \mu\text{F}$$

Dimana \rightarrow besar R_1 , R_2 dan R

ditentukan lebih dulu.

Rangkaian low pass filter diatas apabila digambarkan hasilnya sebagai berikut



GAMBAR 3.57

Low Pass Filter Order Empat

III.3.1.2. Band Pass Filter Group (60 - 108) KHz.

Band pass filter dapat dibuat dengan mengkaskade antara low pass filter dan high pass filter yang digunakan untuk group, frekuensi cut-off low pass diambil sebesar 108 KHz dan untuk high pass 60 KHz.

A. Low Pass Filter 108 KHz.

Frekuensi cut-off = 108 KHz

Untuk $n = 4 \rightarrow A_{v1} = 2.235$ dan $A_{v2} = 1.152$

$$R_1 = 10 \text{ K} \rightarrow R_1' = 12.35 \text{ K}$$

$$R_2 = 10 \text{ K} \rightarrow R_2' = 1.52 \text{ K}$$

$$f_o = 1/2\pi RC \rightarrow \text{untuk } R = 1 \text{ K} \rightarrow C = 1/2\pi 108 \cdot 10^3 \cdot 10^3$$

$$C = 1.47 \text{ nF}$$

B. High Pass Filter 60 KHz.

Frekuensi cut-off = 60 KHz

Untuk $n = 4 \rightarrow A_{v1} = 2.235$ dan $A_{v2} = 1.152$

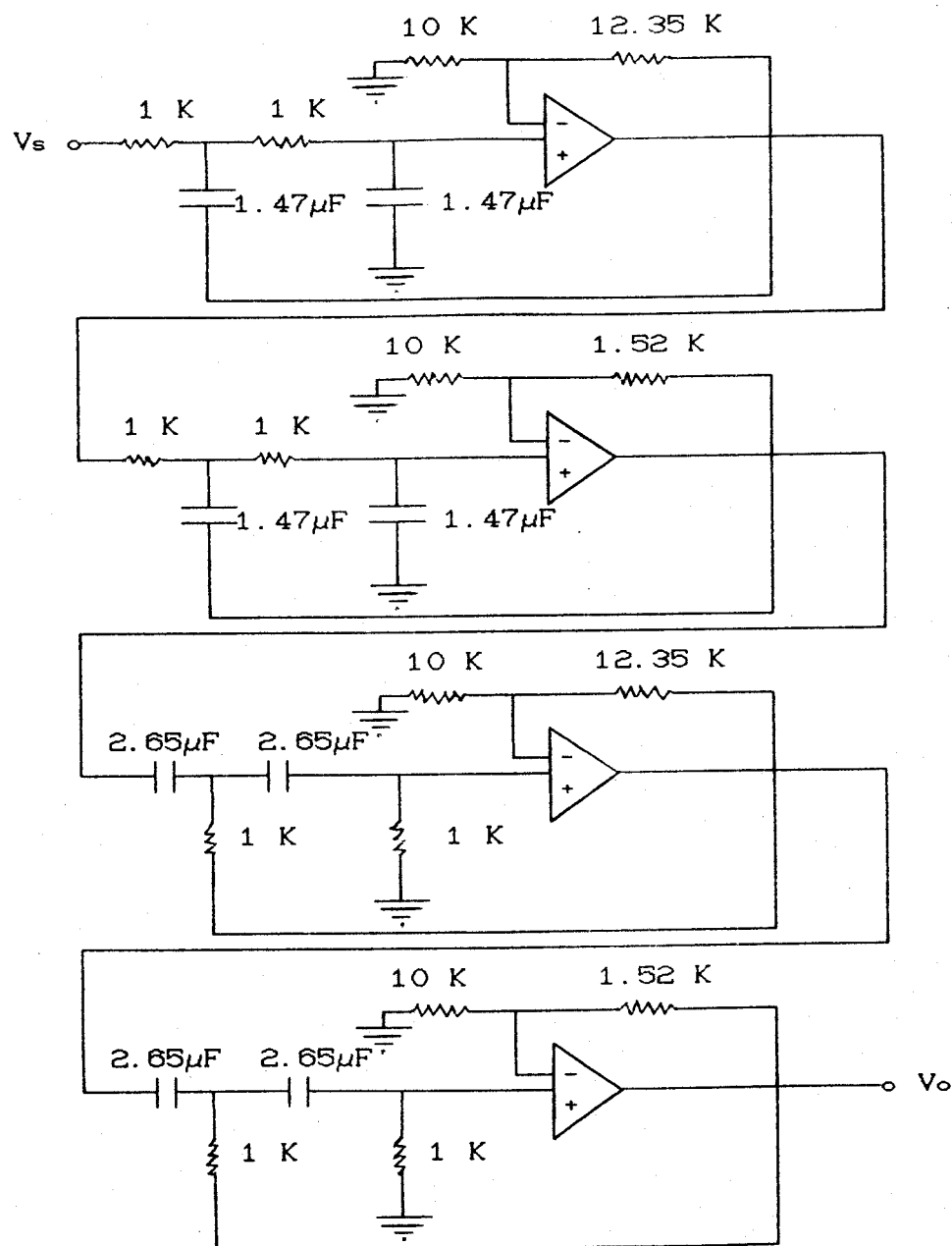
$$R_1 = 10 \text{ K} \rightarrow R_1' = 12.35 \text{ K}$$

$$R_2 = 10 \text{ K} \rightarrow R_2' = 1.52 \text{ K}$$

$$f_o = 1/2\pi RC \rightarrow \text{untuk } R = 1 \text{ K} \rightarrow C = 1/2\pi 60 \cdot 10^3 \cdot 10^3$$

$$C = 2.65 \text{ nF}$$

Dengan mengkaskadekan low pass dan high pass diatas didapatkan rangkaian band pass sebagai berikut.



GAMBAR 3.58

Rangkaian Band Pass Filter Order Empat

III.3.1.3. Ulasan Filter Aktip.

Pada filter aktip apabila diinginkan peredaman α dan pergeseran phase β yang lebih baik, dapat digunakan standart perhitungan berdasarkan grafik gambar 2.7.

TABEL 3.3

Peredaman dan Pergeseran Phase
yang dihasilkan tiap Order Rangkaian

Order	Peredaman		Pergeseran phase	
	dB/dec	nep/dec	Dlm ($^{\circ}$)	Dlm rad
1	- 20	- 2.3	60 $^{\circ}$	0.33 π
2	- 40	- 4.6	45 $^{\circ}$	0.25 π
3	- 89	-10.2	120 $^{\circ}$	0.67 π
4	-114	-13.1	90 $^{\circ}$	0.50 π
.
.
8	-266	-30.7	180 $^{\circ}$	1.00 π

Dimana : $\rightarrow \text{dB} = 8.686 \text{ neper}$

$$\begin{aligned} \rightarrow \theta^{\circ} &= \cos^{-1} \frac{1}{K} \\ &= \cos^{-1} \frac{1}{S/2} \end{aligned}$$

Apabila diinginkan filter yang baik dapat digunakan order yang besar, ini berarti

- mengkaskade rangkaian, sehingga proses pemfilteran semakin selektif
- memperbesar redaman dan pergeseran phase

Jadi apabila diperlukan pergeseran phase $\pi/2$ radian digunakan order 4, peredaman yang dihasilkan -13.1 nep/dec

Dan apabila diinginkan pergeseran phase π radian digunakan order 8 dengan mengkaskadekan dua rangkaian order 4, sehingga menghasilkan peredaman sebesar -30.7 nep/dec.

III.3.2. Filter Pasip.

Rangkaian filter yang digunakan adalah :

- T-section seperti pada gambar 2.11
- π -section seperti pada gambar 2.12
- Half-section seperti pada gambar 2.11.b dan gambar 2.12.b

Dari ketiga bentuk rangkaian tersebut diatas harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

- Besar impedansi T-section dan π -section harus sama
- Half-section diperoleh dari rangkaian T-section atau π -section
- Cara termudah untuk mencari besarnya impedansi seri Z_1 dapat digunakan rangkaian π -section, sebaliknya impedansi paralel digunakan rangkaian T-section
- Untuk merangkai antara section diatas harus sama bentuknya, jadi T-section dengan T-section dan π -section dengan π -section, tidak boleh T-section dengan π -section, berakibat karakteristik impedansi kurang baik.

Dengan diketahui impedansi seri dan impedansi paralel sebuah filter, konstanta propagasi dapat dihitung.

Konstanta propagasi dinotasikan dengan γ , besar konstanta propagasi γ dapat diperoleh dari rangkaian seperti tersebut diatas, selanjutnya dapat dirumuskan dengan menggunakan parameter A B C D sebagai berikut

$$\gamma = \cosh^{-1} \sqrt{AD}$$

Dari parameter A B C D besarnya

$$A = V_1/V_2 \quad |_{I_2=0}$$

$$B = -V_1/I_2 \quad |_{V_2=0}$$

$$C = I_1/V_2 \quad |_{I_2=0}$$

$$D = -I_1/I_2 \quad |_{V_2=0}$$

Hubungan parameter A B C D dengan parameter Z

$$A = Z_{11}/Z_{21}$$

$$B = (Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21})/Z_{21}$$

$$C = 1/Z_{21}$$

$$D = Z_{22}/Z_{21}$$

$$\text{Dimana} \rightarrow Z_{11} = V_1/I_1 \quad |_{I_2=0}$$

$$Z_{22} = V_2/I_2 \quad |_{I_1=0}$$

$$Z_{21} = V_2/I_1 \quad |_{I_2=0}$$

$$Z_{12} = V_1/I_2 \quad |_{I_1=0}$$

Untuk lebih jelasnya dalam perhitungan dapat diambil contoh seperti pada gambar 2.11.a.

Dengan parameter A B C D diperoleh

$$A = 1 + Z_1/2Z_2$$

$$D = 1 + Z_1/2Z_2$$

A = D , maka besarnya

$$\gamma = \cosh^{-1}(1 + Z_1/2Z_2)$$

Dengan bantuan persamaan 2.4

$$\gamma/2 = \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\gamma = 2 \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

Konstanta propagasi γ terdiri dari peredaman α dan pergeseran phase β , sehingga dapat dituliskan.

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

Dari konstanta propagasi dapat diketahui pada daerah pass band besar peredaman α harus sama dengan nol atau dapat dikatakan bebas dari peredaman, sebaliknya pada daerah attenuation band atau stop band besar peredaman α harus semaksimal mungkin. Batas antara daerah pass band dan attenuation band dinamakan frekuensi cut-off, dengan diketahui daerah pass band, daerah attenuation band, cut-off dan karakteristik impedansi secara pasti, didapatkan filter yang baik, dengan cut-off tajam dan karakteristik impedansi yang baik.

$$\gamma = 2 \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\gamma/2 = \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\sinh \gamma/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

Sesuai dengan persamaan 2.5

$$\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 + j \cosh \alpha/2 \sin \beta/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

Persamaan diatas dapat digunakan untuk menentukan daerah pass band, attenuation band dan frekuensi cut-off sebuah filter.

Pada daerah pass band syarat yang harus dipenuhi yaitu besarnya $\alpha = 0$, untuk memperoleh $\alpha = 0$ ini bagian real harus sama dengan nol, jadi

$$\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 = 0$$

$$\sinh \alpha/2 = 0$$

$$\alpha = 0$$

Bagian imajiner

$$j \cosh \alpha/2 \sin \beta/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$j \sin \beta/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\beta = 2 \sin^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

Maka daerah pass band besarnya

$$\alpha = 0$$

$$\beta = 2 \sin^{-1} \sqrt{-Z_1/4Z_2}$$

$$\text{Dimana } \sqrt{-Z_1/4Z_2} < 0$$

Pada daerah attenuation band atau stop band syarat yang harus dipenuhi adalah besar α tidak boleh sama dengan nol, untuk memenuhi α tidak sama dengan nol, bagian real tidak boleh sama dengan nol dan bagian imajiner harus sama dengan nol, jadi

$$\begin{aligned}\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 &= \sqrt{Z_1/4Z_2} && + \text{bagian Real} \\ \cosh \alpha/2 \sin \beta/2 &= 0 && + \text{bagian Imaginer}\end{aligned}$$

$$\text{Untuk } \cosh \alpha/2 = 1 \rightarrow \sin \beta/2 = 0$$

$$\beta/2 = \pm n\pi$$

$$\beta = \pm 2 n\pi$$

Bagian real

$$\begin{aligned}\sinh \alpha/2 \cos \beta/2 &= \sqrt{Z_1/4Z_2} \\ \sin \alpha/2 &= \sqrt{Z_1/4Z_2} \\ \alpha &= 2 \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}\end{aligned}$$

Maka daerah attenuation band atau stop band besarnya

$$\alpha = 2 \sinh^{-1} \sqrt{Z_1/4Z_2}$$

$$\beta = \pm 2 n\pi$$

$$\text{Dimana } \rightarrow \sqrt{Z_1/4Z_2} > 0$$

Persamaan pass band diatas dianalisa lagi, apabila

$$\alpha = 0$$

$$\beta = 2 \sin \sqrt{-Z_1/4Z_2}$$

Untuk $|\sqrt{Z_1/4Z_2}| > 1$ sesuai dengan persamaan 2.9 maka harga $\sin \beta/2 > 1$, ini tidak mungkin, yang mungkin harga dari $\sin \beta/2 = \pm 1$, kondisi ini dipenuhi apabila

$$\sqrt{Z_1/4Z_2} > -1$$

Dengan demikian pass band terletak pada

$$\sqrt{Z_1/4Z_2} > -1 \quad \text{dan} \quad \sqrt{Z_1/4Z_2} < 0$$

atau dapat dituliskan $-1 < \sqrt{Z_1/4Z_2} < 0$

Dari persamaan 2.8 besar $\cos \beta/2 = 0$

$$\sin \beta/2 = \pm 1$$

$$\beta = (2n-1)\pi$$

Dari persamaan 2.5 apabila besar $\cos \beta/2 = 0$

maka $\rightarrow j \cosh \alpha/2 = \sqrt{Z_1/4Z_2}$

$$\cosh \alpha/2 = \sqrt{|Z_1/4Z_2|}$$

$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|}$$

Jadi dengan demikian daerah pass band terletak pada

$$-1 < \sqrt{Z_1/4Z_2} < 0$$

dan pada pass band besarnya

$$\alpha = 0$$

$$\beta = 2 \sin \sqrt{-Z_1/4Z_2}$$

Sedangkan daerah attenuation band atau stop band terletak diluar $-1 < \sqrt{Z_1/4Z_2} < 0$

Pada attenuation band besarnya

$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|}$$

$$\beta = (2n-1)\pi$$

Dari analisa diatas sudah jelas daerah pass band dan attenuation bandnya, dengan demikian besar frekuensi cut-off dapat ditentukan.

Pass band terletak pada $-1 < \sqrt{Z_1/4Z_2} < 0$

Maka frekuensi cut-off terletak pada

$$Z_1/4Z_2 = 0 \quad \text{dan} \quad Z_1/4Z_2 = -1$$

Untuk $Z_1/4Z_2 = 0 \rightarrow Z_1 = 0$

$$Z_1/4Z_2 = -1 \rightarrow Z_1 = -4Z_2 \text{ atau } Z_1 + 4Z_2 = 0$$

Untuk menentukan karakteristik impedansi dapat digunakan parameter A B C D

Rumus karakteristik impedansi yaitu

$$Z_0 = \sqrt{B/C}$$

$$\text{Dimana} \rightarrow B = (Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}) / Z_{21}$$

$$C = 1/Z_{21}$$

Z_0 dapat diganti menjadi

$$Z_0 = \sqrt{(Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21})}$$

Karena yang digunakan rangkaian T-section dan π -section, dapat diambil contoh seperti pada gambar 2.11.a.

Dengan bantuan persamaan 2.16 diperoleh

$$Z_{0T} = \sqrt{Z_1 Z_2 (1 + Z_1/4Z_2)}$$

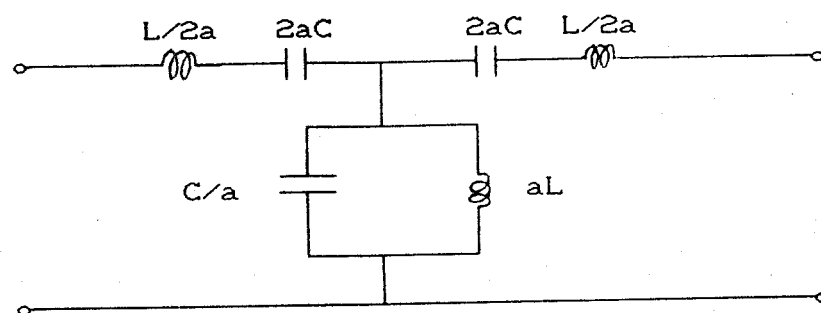
Untuk π -section, dengan bantuan persamaan 2.19 diperoleh

$$Z_{0\pi} = Z_1 Z_2 / Z_{0T}$$

Rumus diatas menyangkut mengenai daerah pass band, daerah attenuation band, frekuensi cut-off juga karakteristik impedansi, digunakan sebagai dasar perhitungan untuk semua jenis filter. Pada bab ini dibahas mengenai filter yang digunakan pada frequency division multiplexing, maka nanti yang dibahas adalah khusus band pass filter ditinjau menurut methode konstanta- k dan methode m-derived serta komposit filternya, supaya tahu kelemahan dan kelebihan penggunaan filter diatas, sehingga pada akhir pembahasan didapatkan filter yang baik yaitu dengan frekuensi cut-off tajam serta mempunyai karakteristik impedansi yang baik, penggunaan filter pada frequency division multiplexing harus baik, agar nanti propagasi dapat berjalan baik dan efektif dan semua ini merupakan pokok masalah yang dipecahkan dalam pembahasan ini.

III.3.2.1. Konstanta- A Band Pass Filter.

Untuk analisa konstanta- A band pass filter dapat diambil rangkaian gambar 3.59, impedansi seri Z_1 didapat dari rangkaian π -section, impedansi paralel Z_2 didapat dari rangkaian T-section.



GAMBAR 3.59

Konstanta- A Band Pass Filter

$$Z_1 Z_2 = L/C = R_o^2$$

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 = 1/\omega_o^2$$

Misalkan $x = f/f_o = \omega/\omega_o = \omega\sqrt{LC}$

$$\omega L = R_o x \quad \text{dan} \quad 1/\omega C = R_o/x$$

Dari gambar diatas

$$\begin{aligned} Z_1 &= (j\omega L/a) - (j/\omega aL) = (jR_o x/a) - (jR_o/ax) \\ &= jR_o(x^2 - 1)/ax \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= [j\omega aL] / [j\omega C/a (j\omega aL - j/(\omega C/a))] \\
 &= [jaRo^2] / [(Ro/x) - (Rox)] \\
 &= jaRox / (1 - x^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 Z_2 &= \{jRo(x^2-1)/ax\} \{-jaRox/(1-x^2)\} \\
 &= Ro^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1/4Z_2 &= [jRo(x^2-1)/ax] / [4jaRox/(1-x^2)] \\
 &= [jRo(x^2-1)(1-x^2)] / [4ja^2Rox^2] \\
 &= [(x^2-1)(1-x^2)] / [4a^2x^2] \\
 &= -[(x^2-1)^2] / [4a^2x^2]
 \end{aligned}$$

Untuk rangkaian T-section

$$\begin{aligned}
 Z_{0T} &= \sqrt{Z_1 Z_2 (1 + Z_1/4Z_2)} \\
 &= Ro [1 - (x^2-1)^2/4a^2x^2]^{1/2}
 \end{aligned}$$

Untuk rangkaian π -section

$$Z_{0\pi} = Ro / [1 - (x^2-1)^2/4a^2x^2]^{1/2}$$

Impedansi Z_{0T} akan real dan resistip apabila

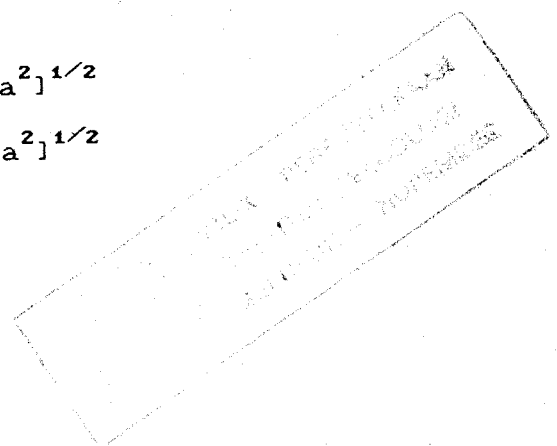
$$[1 - (x^2-1)^2/4a^2x^2]^{1/2} < 1$$

dengan demikian

$$(x^2-1)/(2ax) = -1 \quad \text{dan} \quad (x^2-1)/(2ax) = 1$$

Maka besar x dapat ditentukan

$$\begin{aligned}
 x_1 &= -a + [1 + a^2]^{1/2} \\
 x_2 &= +a + [1 + a^2]^{1/2} \\
 x_2 - x_1 &= 2a
 \end{aligned}$$



Dari permisalan normalisasi frekuensi $x = f/f_0$

$$x_2 - x_1 = (f_2 - f_1)/f_0 = 2a$$

$$(f_2 - f_1) = 2af_0$$

$$a = (f_2 - f_1)/2f_0$$

Untuk $\rightarrow x_1 x_2 = 1$ dan $f_1 f_2 = f_0^2$

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

Dari uraian diatas dapat diturunkan rumus peredaman α dan pergeseran phase β .

Untuk daerah pass band besarnya

$$\alpha = 0$$

$$\begin{aligned}\beta &= 2 \sin^{-1} \sqrt{-Z_1/4Z_2} = 2 \sin^{-1} [(x^2 - 1)^2] / [4a^2 x^2]^{1/2} \\ &= 2 \sin^{-1} [x^2 - 1/2ax] \text{ radian}\end{aligned}$$

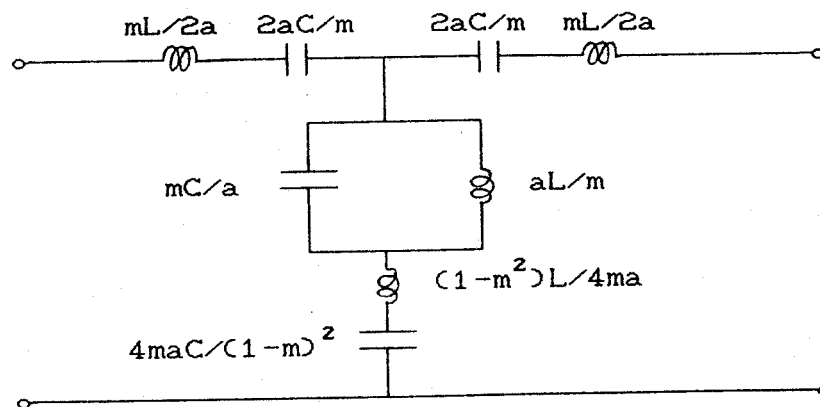
Untuk daerah attenuation band besarnya

$$\begin{aligned}\alpha &= 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|} \\ &= 2 \cosh^{-1} [|(x^2 - 1)^2| / [4a^2 x^2]^{1/2}] \text{ neper} \\ \beta &= (2n-1)\pi \text{ radian}\end{aligned}$$

Dimana $\rightarrow n=1,2,3 \text{ dst.}$

III.3.2.2. M-derived Band Pass Filter.

Untuk memudahkan analisa m-derived band pass filter dapat digunakan rangkaian sebagai berikut



GAMBAR 3.60

M-derived Band Pass Filter

$$Z_1 = [jR_o(x^2 - 1)]/[ax]$$

$$Z_2 = [jaR_o x]/(1 - x^2)$$

Dari persamaan 2.47 besarnya

$$m = [1 - ((f_2 - f_1)/(f_{\sim 2} - f_{\sim 1}))^2]^{1/2}$$

Apabila $x = f/f_o$ dan $a = (f_2 - f_1)/2f_o$

$$\begin{aligned} Z_1' &= [mZ_1(4m/(1 - m^2))Z_2] / [mZ_1 + (4m/(1 - m^2))Z_2] \\ &= [mZ_1Z_24m] / [mZ_1 - m^3Z_1 + 4mZ_2] \\ &= [Z_1Z_24m] / [Z_1 - m^2Z_1 + 4Z_2] \\ &= [-j4R_o max(1 - x^2)] / [(m^2x^4 - x^4 + 4a^2x^2 - 2m^2x^2 + 2x^2 + m^2 - 1)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_2' &= (Z_2/m) + Z_1(1 - m^2/4m) \\
 &= [ja^2 R_o x^2 4m + jR_o(x^2-1)(1-m^2)m(1-x^2)] / [m(1-x^2)4max] \\
 &= [jR_o(m^2 x^4 - x^4 + 4a^2 x^2 - 2m^2 x^2 + 2x^2 + m^2 - 1)] / [4max(1-x^2)]
 \end{aligned}$$

$$Z_1' Z_2' = R_o^2$$

$$\begin{aligned}
 Z_1'/4Z_2' &= [-j4R_o max(1-x^2)] / [(m^2 x^4 - x^4 + 4a^2 x^2 - 2m^2 x^2 + 2x^2 + m^2 - 1)] \\
 &\quad / [4[jR_o(m^2 x^4 - x^4 + 4a^2 x^2 - 2m^2 x^2 + 2x^2 + m^2 - 1)] / [4max(1-x^2)]] \\
 &= -[4m^2 a^2 x^2 (1-x^2)^2] / [x^4(m^2-1) + 2x^2(2a^2-m^2+1) + m^2-1]^2
 \end{aligned}$$

Dengan analisa perhitungan diatas, maka rumus untuk mencari besar peredaman α , pergeseran phase β dan karakteristik impedansi dapat ditentukan.

Pada daerah *pass band* besarnya

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 0 \\
 \beta &= 2 \sin^{-1} \sqrt{-Z_1/4Z_2} \\
 &= 2 \sin^{-1} \sqrt{Y} \text{ radian}
 \end{aligned}$$

$$\text{Dimana : } Y = 4m^2 a^2 x^2 (1-x^2)^2 / [x^4(m^2-1) + 2x^2(2a^2-m^2+1) + m^2-1]^2$$

Pada daerah *attenuation band* besarnya

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Z_1/4Z_2|} \\
 &= 2 \cosh^{-1} \sqrt{|Y|} \text{ neper} \\
 \beta &= (2n-1)\pi \text{ radian}
 \end{aligned}$$

Besar karakteristik impedansi apabila yang digunakan rangkaian T-section

$$Z_{0T} = \sqrt{Z_1 Z_2 (1 + Z_1 / 4 Z_2)}$$

$$Z_{0T}' = [R_o^2 (1 + Y)]^{1/2} = R_o [1 + Y]^{1/2}$$

Untuk rangkaian π -section,

$$Z_{0\pi}' = R_o / [1 + Y]^{1/2}$$

III.3.2.3. Analisa Perhitungan Filter.

Dari rumus yang didapatkan dari analisa perhitungan band pass filter dengan methode konstanta- k dan m -derived. Untuk membuktikan dapat diambil contoh pada sistem frequency division multiplexing, penggunaan band pass filter pada pembentukan super group dari beberapa group yang sudah terbentuk. Berikut ini diadakan perhitungan band pass filter dengan menggunakan beberapa frekuensi test dihitung dengan rumus peredaman α , pergeseran phase β dan karakteristik impedansi yang telah ditentukan diatas, sehingga akan tahu baik tidaknya respon ketajaman cut-off yang dihasilkan dengan menggunakan konstanta- k maupun m -derived.

Analisa perhitungan dibagi menjadi dua

1. Analisa perhitungan menggunakan frekuensi test pada daerah *attenuation band*.
2. Analisa perhitungan menggunakan frekuensi test pada daerah *pass band*.

III.3.2.3.1. Band Pass Filter Super Group (312 - 552)KHz.

- A. Analisa perhitungan menggunakan frekuensi test pada daerah Attenuation Band.

TABEL 3.4

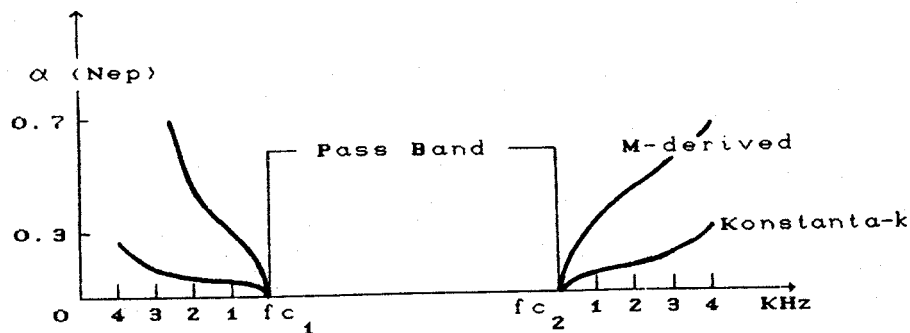
Hasil Peredaman pada kiri Pass Band

No.	Frek test A.B (KHz)	Konstanta- α	M-derived	$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$
		α_1 (nep)	α_2 (nep)	
1	289	0.233	1.1079	4.76
2	296	0.194	0.8735	4.54
3	309	0.146	0.5715	3.92
4	310	0.069	0.3948	5.60

TABEL 3.5

Hasil Peredaman pada kanan Pass Band

No.	Frek test A.B (KHz)	Konstanta- α	M-derived	$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$
		α_1 (nep)	α_2 (nep)	
1	554	0.0527	0.3760	7.14
2	561	0.1089	0.4630	4.34
3	568	0.1443	0.5639	3.90
4	575	0.1717	0.6904	4.03



Dimana :

$$\left. \begin{aligned} f_c &= 312 \\ f_{c1} &= 552 \\ f_{\sim 1} &= 282 \\ f_{\sim 2} &= 582 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m &= 0.6 \\ f_o &= 415 \end{aligned}$$

GAMBAR 3.61

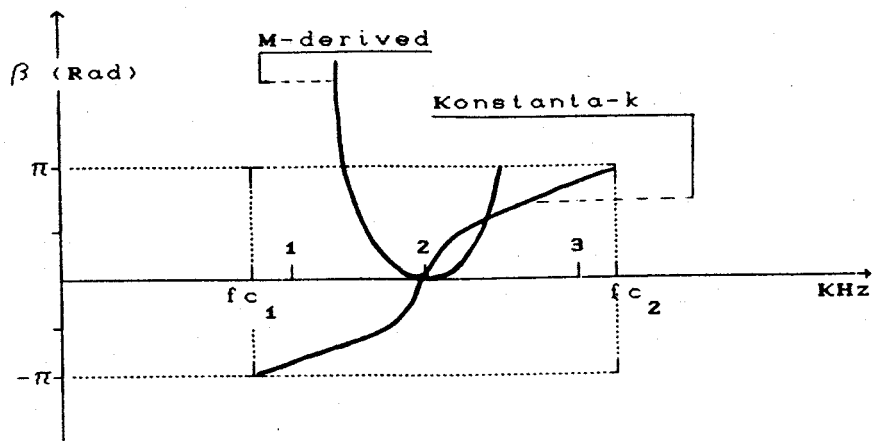
Peredaman pada daerah Attenuation Band

B. Analisa perhitungan menggunakan frekuensi test pada daerah Pass Band.

TABEL 3.6

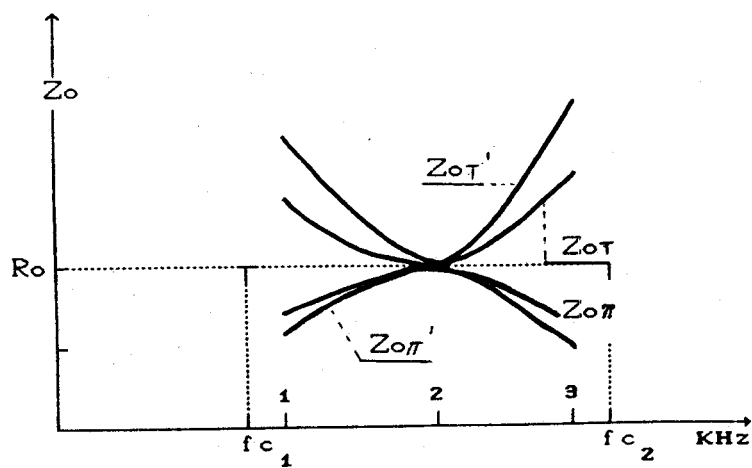
Hasil Pergeseran Phase dan Impedansi pada Pass Band

No.	Frek. test P. B (kHz)	Konstanta-k			M-derived		
		β (rad)	Z_{oT} (ohm)	$Z_{o\pi}$ (ohm)	β (rad)	Z_{oT} (ohm)	$Z_{o\pi}$ (ohm)
1	316	- .812	1.4Ro	0.7Ro	\sim^+	1.7Ro	.58Ro
2	415	0	Ro	Ro	0	Ro	Ro
3	548	.852	1.6Ro	0.6Ro	\sim^+	1.8Ro	.56Ro



GAMBAR 3.62

Pergeseran Phase pada daerah Pass Band



GAMBAR 3.63

Karakteristik Impedansi pada Pass Band

III.3.2.3.2. Band Pass Filter Master Group (812 - 2044) KHz

- A. Analisa perhitungan menggunakan frekuensi test pada daerah Attenuation Band.

TABEL 3.7

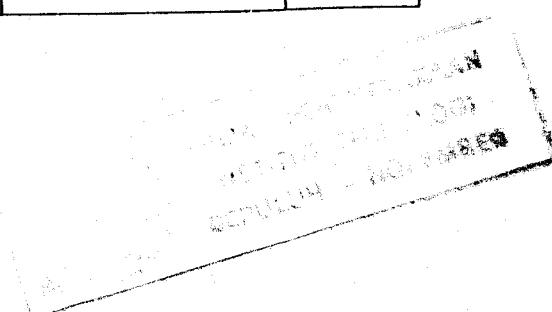
Hasil Peredaman pada kiri Pass Band

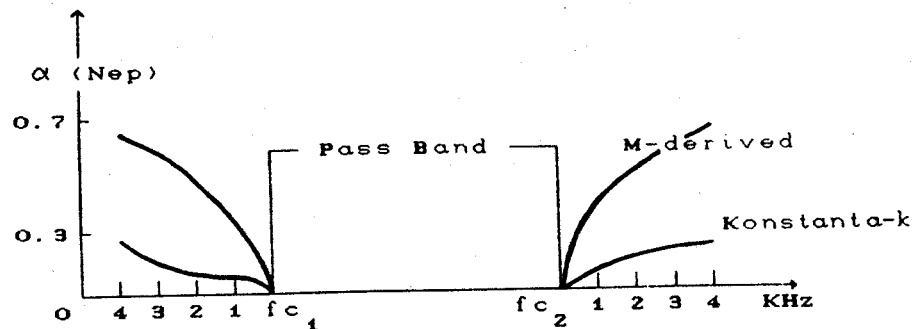
No.	Frek test A. B (KHz)	Konstanta- α	M-derived	$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$
		α_1 (nep)	α_2 (nep)	
1	696	0.267	0.663	2.48
2	734	0.217	0.641	2.95
3	772	0.154	0.602	3.90
4	810	0.034	0.361	10.60

TABEL 3.8

Hasil Peredaman pada kanan Pass Band

No.	Frek test A. B (KHz)	Konstanta- α	M-derived	$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$
		α_1 (nep)	α_2 (nep)	
1	2046	0.0214	0.355	16.50
2	2084	0.0958	0.436	4.55
3	2122	0.1327	0.525	3.95
4	2160	0.1609	0.633	3.90





Dimana :

$$\left. \begin{array}{l} f_c = 312 \\ f_{c1} = 552 \\ f_{\sim 1} = 282 \\ f_{\sim 2} = 582 \end{array} \right\} \begin{array}{l} m = 0.6 \\ f_o = 415 \end{array}$$

GAMBAR 3.64

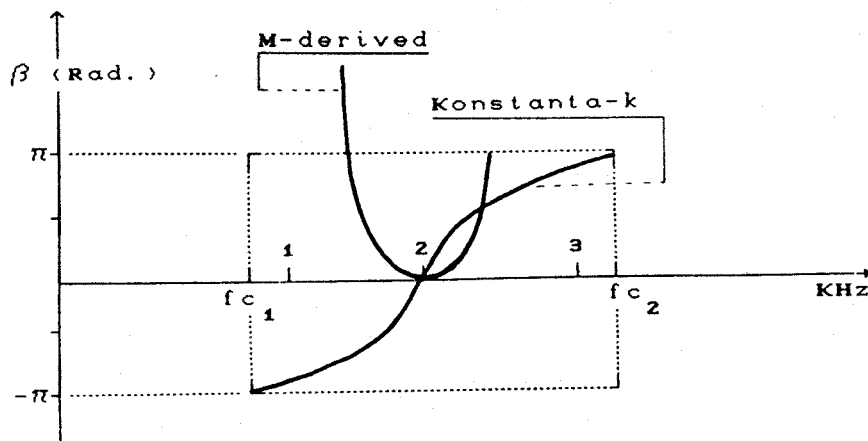
Peredaman pada daerah Attenuation Band

B. Analisa perhitungan menggunakan frekuensi test pada daerah Pass Band.

TABEL 3.9

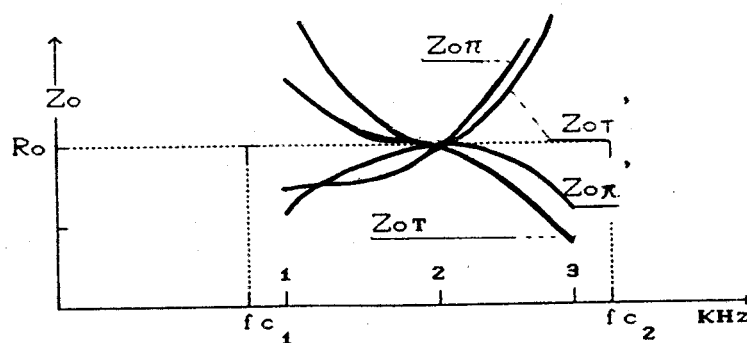
Hasil Pergeseran Phase dan Impedansi Pass Band

No.	Frek. test P. B (KHz)	Konstanta-A			M-derived		
		β (rad)	Z_{oT} (ohm)	$Z_{o\pi}$ (ohm)	β' (rad)	Z_{oT}' (ohm)	$Z_{o\pi}'$ (ohm)
1	816	-.909	1.4Ro	0.7Ro	~+	1.8Ro	.53Ro
2	1288.3	0	Ro	Ro	~0	Ro	Ro
3	2040	.957	0.4Ro	2.5Ro	~+	1.9Ro	.52Ro



GAMBAR 3.65

Pergeseran Phase pada daerah Pass Band



GAMBAR 3.66

Karakteristik Impedansi pada Pass Band

Dari hasil pengamatan beberapa frekuensi di daerah attenuation band terlihat pada gambar 3.64 hasil perhitungan peredaman α , dengan menggunakan section

m-derived pencapaian cut-off lebih tajam dibanding dengan menggunakan section konstanta- k , dengan demikian apabila digunakan m-derived hasilnya akan lebih efektif dibanding dengan konstanta- k . Pada pengetesan menggunakan beberapa frekuensi pada daerah pass band, besar pergeseran phase dan karakteristik impedansi dengan methode m-derived dan methode konstanta- k ternyata :

- a. Pergeseran phase dengan konstanta- k lebih baik, setelah frekuensi cut-off dua grafik terlihat kearah π radian dan setelah frekuensi cut-off satu kearah $-\pi$ radian, sedangkan pada m-derived respon yang dihasilkan adalah grafik berbentuk parabola terbuka keatas dan semakin mendekati frekuensi cut-off terlihat arahnya menuju tak terhingga, jadi tidak mungkin kearah π radian.
- b. Karakteristik impedansi yang dihasilkan m-derived dan konstanta- k dari pengambilan beberapa frekuensi test ternyata m-derived hasilnya lebih baik dibanding dengan konstanta- k , sebab karakteristik impedansi m-derived mendekati R_o , dengan demikian karakteristik seperti m-derived yang dikehendaki pada secti filter agar rangkaian dapat memenuhi kondisi matching, sehingga propagasi bisa efektif.

III.3.2.4. Komposit Filter.

Setelah dibuktikan dengan analisa perhitungan dengan mengambil beberapa frekuensi test, ternyata antara konstanta- π filter dengan m-derived filter sama-sama mempunyai kelebihan dan kekurangan sesuai pembahasan diatas. Dengan demikian untuk mendapatkan filter yang baik harus mengambil kelebihan dari kedua methode diatas, agar filter yang digunakan bisa memenuhi kondisi cut-off tajam dan mempunyai karakteristik impedansi baik, untuk memenuhi tuntutan ini yang cocok digunakan adalah filter komposit, susunanya terdiri dari terminating half section, konstanta- π dan m-derived dirangkai secara tandem, selanjutnya rangkaian dapat dilihat dari perhitungan sebagai berikut.

III.3.2.4.1. Komposit Band Pass Filter Super Group

(312 - 552) KHz.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ambil } f_1 = 312 \text{ KHz} \\ f_2 = 552 \text{ KHz} \end{array} \right\} m = 0.6$$

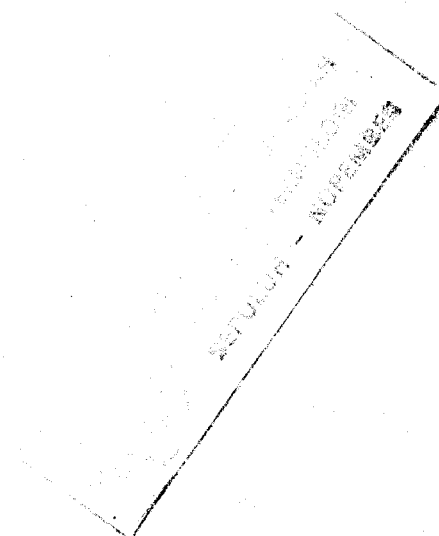
$$R_o = 50 \text{ Ohm}$$

$$L_1 = R_o / \pi (f_2 - f_1)$$

$$C_1 = (f_2 - f_1) / 4\pi R_o f_1 f_2$$

$$L_2 = R_o (f_2 - f_1) / 4\pi f_1 f_2$$

$$C_2 = 1 / \pi R_o (f_2 - f_1)$$



$$L_1 = 50/\pi \cdot 240 \cdot 10^3 = 66.3 \mu\text{H}$$

$$C_1 = 240 \cdot 10^3 / 4\pi \cdot 50 \cdot 312 \cdot 552 \cdot 10^6 = 2.22 \text{ nF}$$

$$L_2 = 50 \cdot 240 \cdot 10^3 / 4\pi \cdot 312 \cdot 552 \cdot 10^6 = 5.54 \mu\text{H}$$

$$C_2 = 1/\pi \cdot 50 \cdot 240 \cdot 10^3 = 26.5 \text{ nF}$$

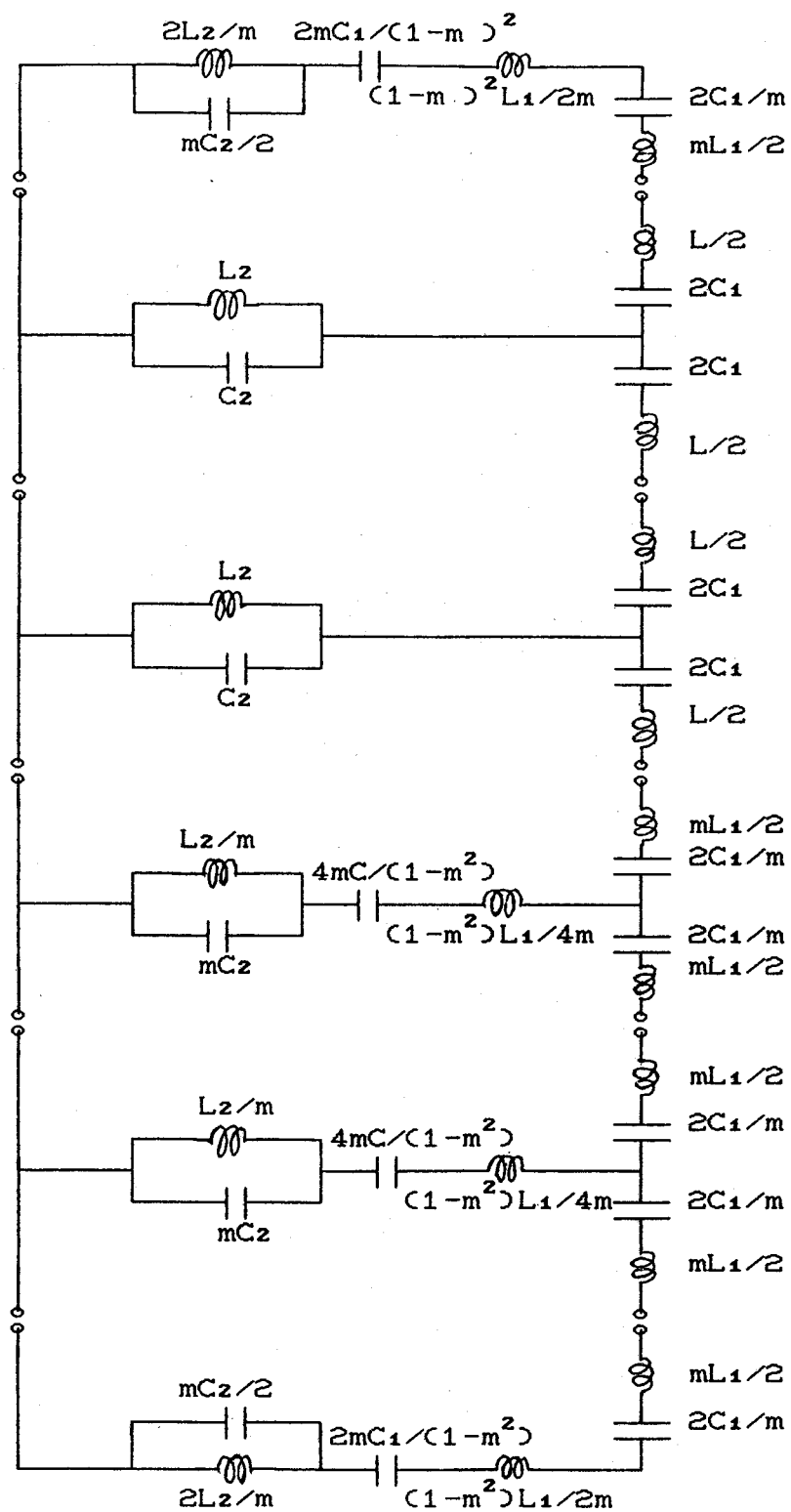
Rangkaian komposit band pass filter super group dapat dilihat pada gambar 3.67

Gambar 3.67.a. menunjukkan Komposit Band Pass Filter

secara umum

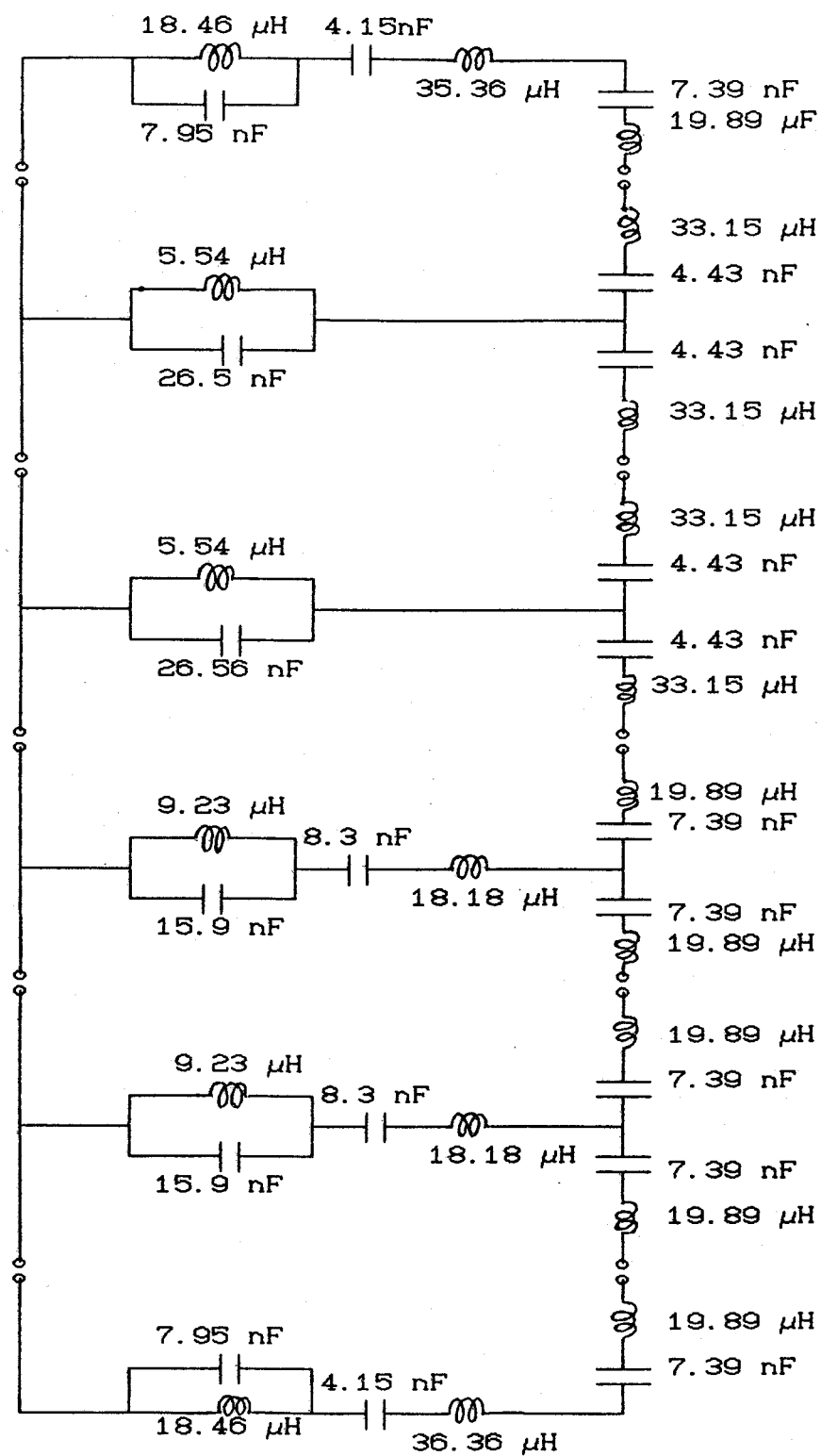
b. menunjukkan Komposit Band Pass Filter

Super Group (312 - 552)KHz



GAMBAR 3.67a

Komposit BPF Secara Umum



GAMBAR 3.67b

Komposit BPF Super Group (312-552) KHz

III.3.2.4.2. Komposit Band Pass Filter Master Group

(812 - 2044)KHz.

$$\begin{array}{l} \text{Ambil} \rightarrow f_1 = 812 \text{ KHz} \\ f_2 = 2044 \text{ KHz} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} f_1 \\ f_2 \end{array}} \right\} m = 0.6$$

$$R_o = 50 \text{ Ohm}$$

$$L_1 = R_o / \pi(f_2 - f_1)$$

$$L_1 = 50 / \pi \cdot 1232 \cdot 10^3 = 1.29 \mu\text{H}$$

$$C_1 = (f_2 - f_1) / 4\pi R_o f_1 f_2$$

$$C_1 = 1232 \cdot 10^3 / 4\pi \cdot 50 \cdot 2044 \cdot 812 \cdot 10^6 = 1.18 \text{ nF}$$

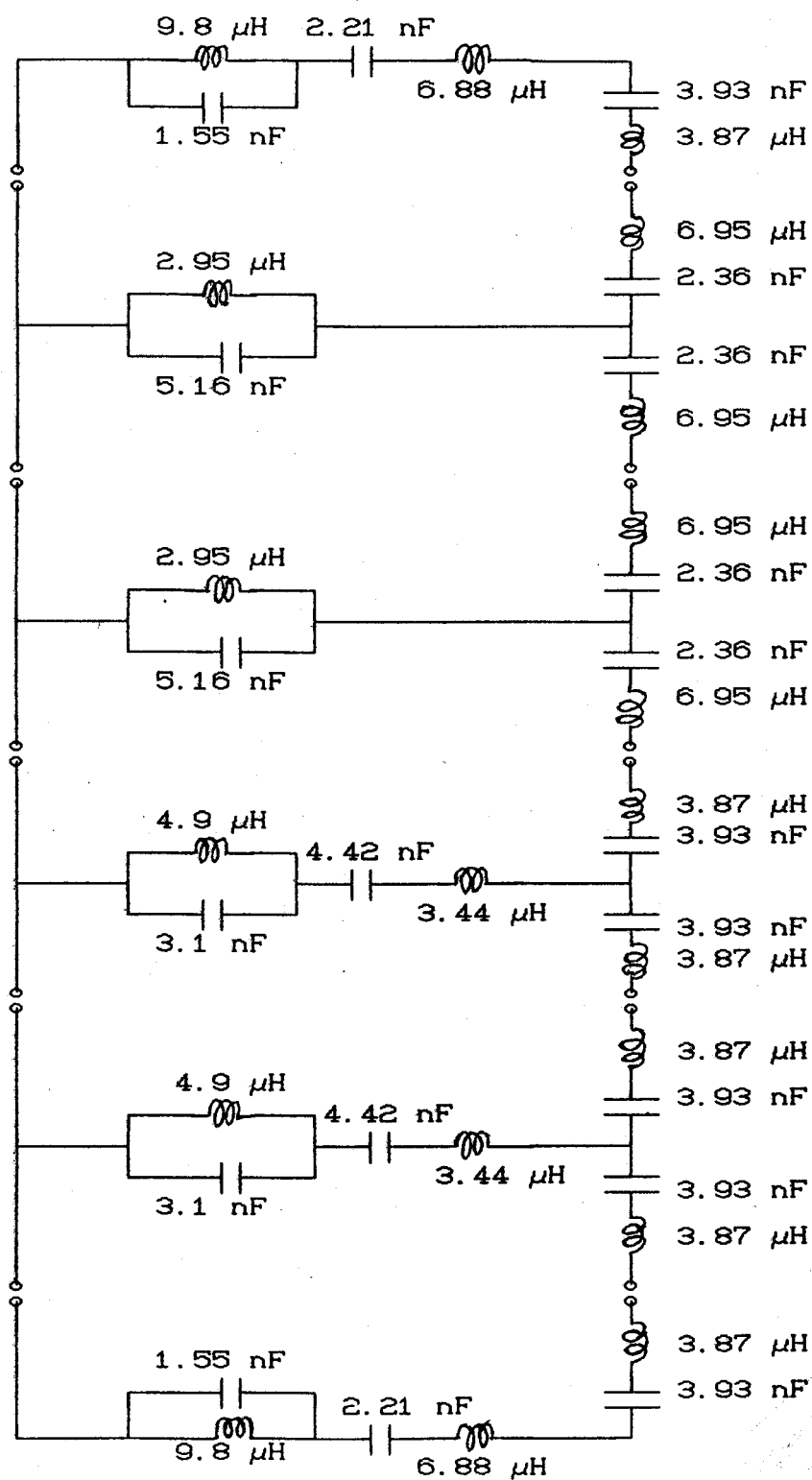
$$L_2 = R_o(f_2 - f_1) / 4\pi f_1 f_2$$

$$L_2 = 50 \cdot 1232 \cdot 10^3 / 4\pi \cdot 2044 \cdot 812 \cdot 10^6 = 2.95 \mu\text{H}$$

$$C_2 = 1 / \pi R_o(f_2 - f_1)$$

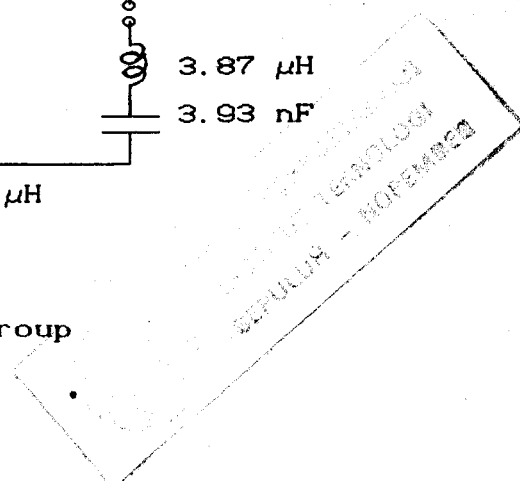
$$C_2 = 1 / \pi \cdot 50 \cdot 1232 \cdot 10^3 = 5.16 \text{ nF}$$

Gambar rangkaian Komposit Band Pass Filter Master Group dapat dilihat pada gambar 3.68.



GAMBAR 3.68

Komposit BPF Master Group



Dengan rangkaian komposit responsi diharapkan seperti pada gambar 3.69 → Peredaman komposit dibandingkan

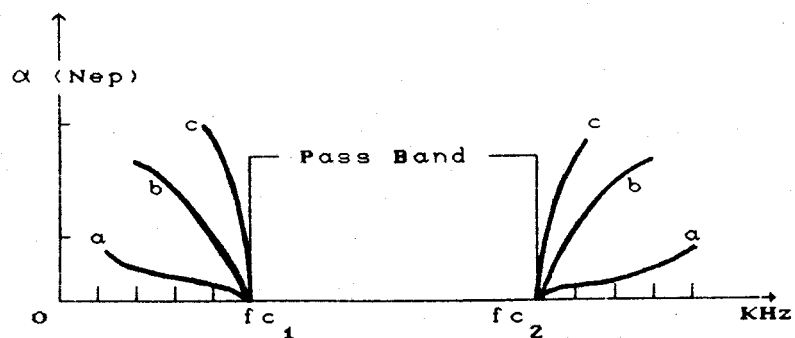
konstanta- k dan m -derived

3.70 → Pergeseran phase komposit dibandingkan

konstanta- k dan m -derived

3.71 → Karakteristik impedansi komposit

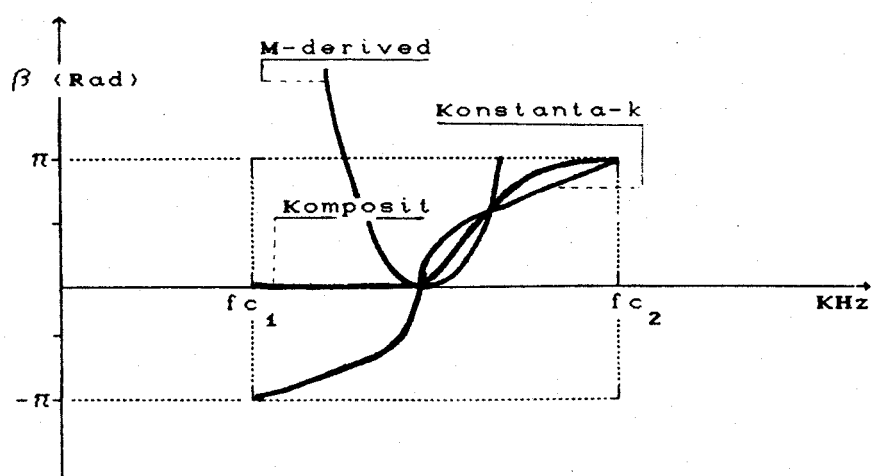
dibandingkan konstanta- k dan m -derived



Dimana : a → Konstanta- k filter
 b → M -derived filter
 c → Komposit filter

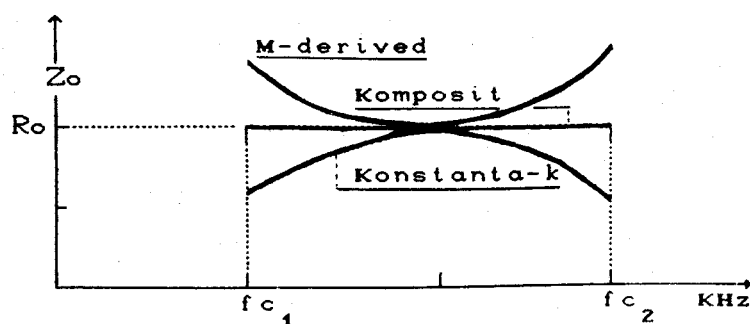
GAMBAR 3.69

Hasil Peredaman Komposit Filter
 pada daerah Attenuation Band



GAMBAR 3.70

Hasil Pergeseran Phase Komposit Filter
pada daerah Pass Band



GAMBAR 3.71

Karakteristik Impedansi Komposit Filter pada Pass Band

BAB IV

KESIMPULAN

Pemakaian filter pada sistem frequency division multiplexing, filter dikehendaki mempunyai cut-off yang tajam dan mempunyai karakteristik impedansi yang baik. Mengingat proses pemfilteran merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keefektipan proses transmisi, jelas dikehendaki filter dengan methode yang tepat agar tuntutan tadi dapat tercapai.

IV.1. Filter Aktip.

Untuk rangkaian filter aktip pada pembahasan bab tiga diambil dari methode *Butterworth*. Karakteristik ketajaman dapat diatur dengan memperbesar n , n menyatakan order rangkaian, semakin besar harga n maka diperlukan kaskade semakin panjang, namun karakteristik ketajaman dan pergeseran phase yang dihasilkan akan semakin baik.

IV.2. Filter Pasip.

Pada m -derived dan konstanta- k mempunyai kelebihan dan kekurangan, dengan adanya kedua faktor tersebut harus diambil kelebihannya dari kedua metode untuk digabungkan membentuk sebuah filter yang dinamakan komposit filter seperti diterangkan pada bab tiga. Dengan komposit filter dikehendaki filter mempunyai cut-off, pergeseran phase dan karakteristik impedansi yang baik, dilihat dari konstruksinya komposit filter terdiri dari tiga

1. *Terminating half section*, terbuat dari m -derived dengan mengambil $m = 0.6$, karena pada $m = 0.6$ karakteristik impedansi mempunyai respons terbaik yaitu mendekati R_0 .
2. *Konstanta- k section*, dari uraian pembahasan sudah jelas responsi konstanta- k ini baik sekali untuk mengarahkan pergeseran phase, jadi diharapkan setelah proses transmisi melewati rangkaian filter phasanya akan bergeser ke arah π radian.
3. *M-Derived section*, pada section ini peredaman yang terjadi lebih baik, karena harga ' m -nya dapat ditentukan, semakin kecil nilai ' m maka ketajaman yang dihasilkan filter semakin curam, dengan mengatur ' m berarti mengatur pula frekuensi dimana peredaman tak terhingga terjadi.

Pada komposit filter ketiga section dirangkai secara tandem, untuk memperoleh ketajaman yang lebih baik lagi dapat dipakai cara menggandakan konstanta- k section dan m -derived sectionnya sampai beberapa section dan pada masing masing ujung ditutup dengan terminating half section.

Dengan adanya filter yang baik, diharapkan proses pemfilteran pada sistem frequency division multiplexing akan baik pula, ini berarti transmisi saluran telepon akan lebih efektif.

IV.3. Saran.

Dari pembahasan diatas dapat dibayangkan betapa banyak filter yang digunakan. Pengurangan jumlah filter rasanya tidak mungkin apabila diinginkan pemfilteran yang baik, sebab proses pemfilteran akan lebih baik apabila diadakan pengkaskadean. Jadi alternatif lain untuk memperkecil investasi sistem digunakan methode lain yaitu dengan sistem *time division multiplexing*, sebagai pengganti sistem *frequency division multiplexing*.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Bohn Dennis*, Audio Hand Book, National Semiconductor Corporation, USA, 1976.
2. *Basman Syahbuddin*, Pengaruh Radiasi Gelombang Mikro pada Fisik Manusia, Lapan, Bandung, 1981.
3. *David R. Smith*, Digital Transmission System, Van Nonstrand Reinhold Company, New York, 1985.
4. *Gyanendra K. Mithal*, Elemen of Electronics and Radio Engineering, Khana Publisher, New Delhi, 1976.
5. *Halkias Millman*, Integrated Electronics Analog and Digital Circuit and Systems, Mc.Graw Hill, Japan, 1983
6. *Ignatius Pandu Atmaja*, The Theory of Maximally Flat Filter And It's Application On Microwave Filters, Kolokium ITS, Surabaya, 1974.
7. *S. Ramabhadran*, Telecommunication Principles Circuit and System, Khana Publisher, New Delhi, 1976.
8. *Shigeki Shoji*, Suhana Ir., Buku Pegangan Teknik Telekomukasi, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1984.
9. *William R. Bennet*, Introduction to Signal Transmission, Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1970.

USULAN TUGAS AKHIR

- A. JUDUL : Studi Tentang Filter Analog
Yang Digunakan Dalam FDM.
- B. RUANG LINGKUP :
 - Sistem Komunikasi
 - Sistem Modulasi
 - Telephoni Telegrapi
- C. LATAR BELAKANG : Dalam telekomunikasi komponen filter penting sekali peranannya dalam proses transmisi. Dengan semakin majunya teknik telekomunikasi, secara langsung maupun tidak langsung konsumen menghendaki peralatan yang lebih sempurna, untuk itu diperlukan pembe-
nahan pada komponen yang digunakan diantaranya filter harus benar-benar mempunyai filtrasi yang baik sesuai dengan frekuensi yang diinginkan.
Jadi dengan memperhatikan faktor-faktor diatas akan didapatkan suatu peralatan telekomunikasi yang baik dan sempurna.
- D. PENELAAHAN STUDI : Pembahasan filter pada telekomunikasi radio disini menyangkut :
 - Macam-macam filter yang digunakan
 - Lebih lanjut dibahas mengenai penerapan filter pada sistem FDM.
- E. TUJUAN : Mempelajari filter yang ada pada sistem FDM sehingga bisa tahu filter apa yang sesuai digunakan.

F. METHODOLOGI : • Mengadakan studi literatur dari berbagai buku referensi
• Pengumpulan data
• Pembahasan Masalah
• Membuat kesimpulan dan buku T.A.

G. RELEVANSI : Dari pembahasan mengenai filter di atas diharapkan akan lebih tahu bagaimana cara mendapatkan filter yang baik digunakan dalam sistem telekomunikasi radio, selain dari pada itu penyusunan ingin menyumbangkan fikiran guna untuk melengkapi referensi mengenai filter, dan harapan penulis semoga buku tugas akhir ini bisa menambah wawasan atau pengetahuan bagi pembacanya.

F. JADWAL KEGIATAN :

W A K T U	BULAN KE					
	I	II	III	IV	V	VI
Studi Literatur	■	■	■			
Pengumpulan Data		■	■	■		
Pembahasan			■	■	■	
Kesimpulan + Buku					■	■

KELOMPOK PENELITIAN
TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER